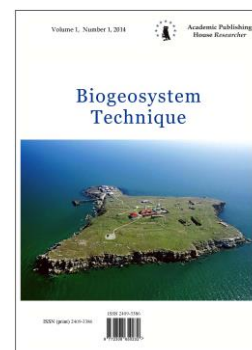


Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(2): 207-219

DOI: 10.13187/bgt.2017.2.207
www.ejournal19.com



Peculiarities of Soils on the Sand Bar of the Evpatoria Group of Lakes

Fedor N. Lisetskii ^{a, *}

^a Belgorod State National Research University, Russian Federation

Abstract

Ecosystems on the accumulative forms of relief occupy only 9 % of the total length of the coastal line of the Crimean Peninsula and they have become particularly vulnerable in the coastal areas, which are highly in demand for recreational purposes. The study had a goal – to study the morphological structure and physicochemical properties of uneven-aged soils, which are formed on the accumulative forms of the coasts of the North-Western Crimea. Estimation of the time of stabilization of undisturbed sections of transplanted sections under the conditions of continuous formation of soil-vegetation cover was made according to the average values of the thickness of the humus horizon of soils. Due to the low productivity of vegetation, which can be fixed on sands, the average rates of formation of the humus horizon of soils of the Crimean floods are low and vary from 0.54 to 1.55 mm/year, depending on the duration of pedogenesis. The study of the soil and plant covers on seven a narrow sand bar of the Evpatoria group of lakes showed a low morphological maturity of the formed soils (with age that is rarely more than a century) and its difference from the more differentiated functional maturity, which is due to the different content of carbonates. A relationship was established between the thickness of the humus horizon of the soils and the functional maturity (13 macro- and microelements accumulated as a result of pedogenesis) for soils with a calcium oxide content of not more than 18 %. The list of the most informative geochemical coefficients that generalize all scenarios of soil formation during renaturation of sands on the accumulative forms of the Black Sea coast was proposed. It is shown that the differences between the morphological and functional maturity of soils on sands are due to the inclusion of soil masses from the preceding stages of pedogenesis into modern profiles in conditions of high dynamism of pedolithogenesis, primarily due to active eolian processes in the coastal zone.

Keywords: Evpatoria Lakes, soils of sand bar, age different soils, soil geochemistry.

1. Введение

Актуальность исследования обусловлена высокой востребованностью в рекреационных целях приморских ландшафтов Крыма при большой динамичности протекающих здесь природных процессов и невысоким потенциалом почвенно-растительного покрова в закреплении песков на пересыпях. Это определяет необходимость изучения редко где сохранившихся (из-за рекреационных нагрузок) участков пересыпей с устойчивым формированием почв на аккумулятивных формах морских берегов.

В Северном Причерноморье для контактной зоны суша-море (оси парагенезиса) характерно формирование лиманно-морского сектора, включающего пересыпь и отмели (как в сторону лимана, так и моря) ([Лиманно-устьевые комплексы..., 1988](#)). Формирование

* Corresponding author
E-mail address: liset@bsu.edu.ru (F.N. Lisetskii)

лиманов было связано с затоплением низовий долин (ранее переуглубленных) водами новоэвксинской и голоценовой (этапы бугазский, витязевский, каламитский, джеметинский, мия) трансгрессий. А со временем лиманы отделились от моря пересыпями. В общей протяженности береговой линии Крымского полуострова 1333 км на долю аккумулятивного пляжевого типа приходится 124,5 км, в том числе в Западном Крыму – 68 км, что составляет 19,1 % всей длины берегов в этой части Крыма (Игнатов и др., 2015). Разнообразие крымских пересыпей способствует разработке их генетической классификации, так как здесь можно наблюдать все стадии генезиса, начиная от подводных валов, баров, кос и узких, низких и плоских пересыпей, через которые еще время от времени перекатываются морские волны, кончая широкими, высокими, плотными, уже окончательно сформировавшимися пересыпями (Дзенс-Литовский, 1938).

На юго-восток и на юго-запад от Евпатории, в пределах Альминской ветви Причерноморской тектонической впадины, берега сложены рыхлыми породами, а прибрежные пространства понижены, что во многом определило формирование лагун и лиманов (Орлова, 2010). В Северо-Западном Крыму примечательна Евпаторийская группа озер (лиманов), которая насчитывает 14 узких морских заливов или устьевых зон балок. Прибрежные озера, в отдельных случаях называемые лиманами, по большей части относятся к лагунам, так как их котловины сформированы за счет изменения уровня моря в голоцене (Cordova, 2016). При выравнивании берегов лагуны отчленились от моря аккумулятивными формами – косами и пересыпями.

Дно Евпаторийских озер покрыто толщей донных отложений (до 12 м), представленных в верхнем слое черными илистыми отложениями. Концентрация солей в воде озер достигает летом 100–200 ‰ (Понизовский, 1965). После анализа имеющихся на настоящий момент данных, считается (Смекалова, Кутайсов, 2017), что озера Донузлав, Ойбурское, Биюк-Мойнакское, Кизыл-Яр были сформированы уже в античную эпоху. Эти озера, давно обособленные от моря, из-за высокой минерализации воды длительное время представляли собой объекты соляных промыслов.

Анализируя особенности морфологии и динамики берега от м. Лукулл до м. Евпаторийский, В.П. Зенкович (1958) отмечает, что отмершие клифы между озерами Сасык, Сакское и Кизыл-Яр свидетельствуют о том, что со временем по мере накопления наносов пляжи становились все шире, пересыпь стала единой и берег выдвинулся на 2 км в море. На длинных и относительно узких пересыпях (береговых барах), сложенных песчано-гравийными (с включением ракуши) отложениями, выделяют (Выхованец, 2003) следующие три основных элемента ландшафта («зоны»): лиманная (со стороны лимана, лагуны, залива и др.); эоловая; морская (пляж и мористый склон авандюны).

Пересыпи озер Евпаторийской группы, как аккумулятивные формы рельефа, так и сформированные на них почвы, представляют собой тела разного возраста. Колебания уровня Черного моря из-за его ограниченной связи с Мировым океаном четко выражены даже в том случае, если имеют небольшую амплитуду, и они оказывали существенное влияние на развитие человеческого общества в прибрежных зонах (Янко-Хомбах и др., 2011). В новом своде античных памятников Северо-Западного Крыма (Смекалова, Кутайсов, 2017) можно найти свидетельства как существования некоторых современных пересыпей, так и их отсутствия в античное время. Так, во время появления древних греков у мыса Тарханкут во второй половине IV в. до н. э. озеро Лиман (ранее – Сарыгёл) (у с. Оленевка) представляло собой глубокий залив (Смекалова, Кутайсов, 2017: 313), а античный маяк ныне располагается на глубине около 3 м (Смекалова, Кутайсов, 2017: 319) и, таким образом, современная пересыпь длиной 2 км и шириной 130 м сформировалась, как минимум после 270 г. до н. э. Примеры другого рода: на пересыпи Сакского озера расположено святилище, которое как стационарный памятник датировано концом I в. до н. э. или второй четвертью I в. н. э. (Смекалова, Кутайсов, 2017, с. 417), а у корня пересыпи оз. Джарылгач расположено античное поселение Межводное (Ярылгач) (325–270 гг. до н. э.) (Смекалова, Кутайсов, 2017: 277). Для Сакского озера кровля морских отложений имеет дату 5610–5340 календарных лет назад (Субетто и др., 2007). Значит, к тому времени уже начала образовываться пересыпь, а полное обособление Сакского озера произошло около 5200 лет назад. Позже (4700 лет назад) сформировалась пересыпь озера Джарылгач (Субетто и др., 2007).

Если современная контактная зона суша-море в сезонной и погодичной динамике характеризуется высокой динамичностью процессов, то береговые геосистемы на протяжении голоценовой истории претерпели качественно различные этапы эволюции с учетом синхронности-асинхронности уровневого режима черноморского бассейна, климатических изменений, сейсмичности и т.п. Анализ варвохронологического ряда по Сакскому озеру показал, что в процессе илонакопления могут быть выделены пять самобытных палеопериодов: 2230–1700 гг. до н. э., 1700–300 гг. до н. э., 300 г. до н. э. – 600 г. н. э., 600–1600 гг. н. э., 1600–1900 гг. н. э., которые получили гидрологическую и палеогеографическую интерпретации (Lisetskii, Pichura, 2016, Lisetskii et al., 2016a). Исследования побережья Керченского полуострова (Поротов, Зинько, 2017) показали, что в ходе последней трансгрессивной фазы, охватывающей последние 1,5 тыс. лет, подъем уровня моря составил около 3,5–4 м, а современная Камыш-Бурунская коса образована наиболее молодой генерацией береговых валов.

Ранее (Выхованец, 2003) отмечалось, что одним из важнейших отличий «ландшафта» на аккумулятивных формах береговой зоны континентальных ландшафтных систем является отсутствие «зеркала ландшафта» – почвы. И только с увеличением ширины и высоты удлиненных песчаных форм могут создаваться условия, благоприятные для почвообразования.

Цель исследования состояла в изучении свойств почв, формируемых на аккумулятивных формах морских берегов Северо-Западного Крыма, в зависимости от возраста почвообразования.

2. Объекты и методы

Из 14 озер Евпаторийской группы исследованы пересыпи семи озер (Рис. 1). Комплекс полевых исследований включал почвенно-генетические исследования и описание растительного покрова (оценка общего проективного покрытия, видового разнообразия растений, включая определение участия злаков как наиболее ценных видов для закрепления песков и эффективного почвообразования).

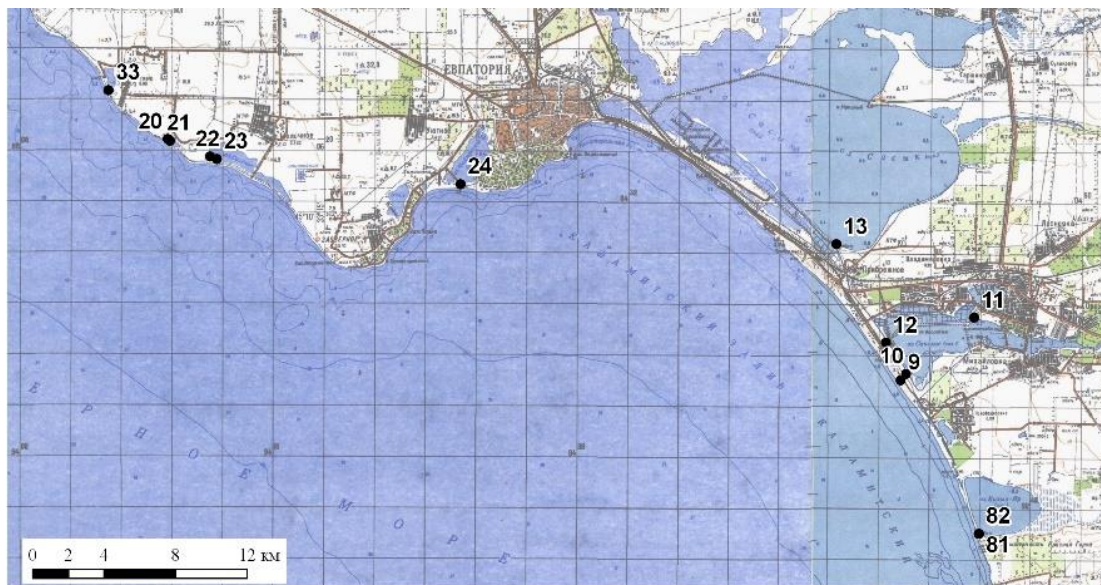


Рис. 1. Объекты исследования – почвы на пересыпях Евпаторийской группы озер (номера объектов соответствуют их описанию в [Таблице 1](#))

Окраска сухой почвы установлена по атласу цветов Манселла (Munsell Soil Color Charts). Углерод органического вещества и pH водный определены стандартными методами, подвижные формы фосфора и калия – по методу Мачигина (ГОСТ 26205–91). Концентрацию макро- и микроэлементов в почвах (TiO₂, V, Cr, MnO, Fe(общ.), Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, CaO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, MgO, Rb, Ba, Zr, Na, As) определяли на рентгеновском спектрометре “Спектроскан Макс–GV” в порошковых пробах по методике измерений

массовой доли химических элементов. По этим данным рассчитаны величины геохимических соотношений и коэффициентов, из которых были отобраны (по величине коэффициента вариации) наиболее информативные. Коэффициент элювиирования (Кэ) рассчитан по формуле, состав оксидов для которой представлен в работе (Liu et al., 2009). Оценка качества почв по содержанию в них необходимых для растений макро-, микроэлементов и полезных элементов выполнена по предложенному перечню (Битюцкий, 2011) с помощью формулы среднего геометрического:

$$SQ_i = (B_1 \cdot B_2 \cdot \dots \cdot B_{10})^{1/10}$$

где $B_1 \dots B_{10}$ – (K, Mg, Ca); (Mn, Fe, Ni, Cu, Zn); (Si, Al).

Биогеохимическое сходство объектов определяли путем интерпретации результатов кластерного анализа (метод Уорда, Евклидова дистанция, значения нормированы по среднеквадратическому отклонению). Оценка времени современной стабилизации пересыпей, отражаемой непрерывным формированием почвенно-растительного покрова, выполнена по статистическим выборкам замера мощности гумусового горизонта почв, используя расчет их возраста с помощью почвенно-хронологического метода (Лисецкий и др., 2016). При этом средние величины мощности гумусового горизонта были приведены к стандартной объемной массе – 1,2 г/см³ и введена поправка на гранулометрический состав (K): так как все почвы по гранулометрическому составу – супесчаные, то K=1,35 (Lisetskii, Chepelev, 2014).

3. Результаты исследования и их обсуждение

В береговой зоне по сравнению с тем, что наблюдается в аэральных (континентальных) условиях, существенно отличаются рельеф и поверхностные отложения (наносы), местоположение между морем и приморским озером (заливом, бухтой), влияние штормовых волн, ветровых и приливных колебаний уровня, постоянные вертикальные и горизонтальные экзогенные деформации рельефа и состава наносов, активная фильтрация приповерхностных вод, ощутимое влияние брызг соленой воды во время штормов (Выхованец, 2003). С увеличением ширины и высоты удлинённых песчаных форм и достижением крупных размеров, по мере снижения влияния гидрогенных воздействий с фронтальной и тыльной сторон и увеличения воздействия континентальных факторов и процессов, в пределах «широких» форм могут создаваться условия, благоприятные для почвообразования (Vestergaard, 1991).

В данном случае при определенных различиях в ширине пересыпей (от 50 до 1500 м) они имеют близкие абсолютные высоты поверхности – до 2 м. Наличие условий для непрерывного почвообразования диагностируется по степени зрелости растительного покрова (большей величине проективного покрытия, по увеличению видового разнообразия растительности и доли злаков в ее составе). Почвы на пересыпях представлены не повсеместно. Естественно, почвенно-растительный покров отсутствует в пляжевой зоне, регулярно используемой в рекреационных целях, но на это есть и природные предпосылки, например, действие эоловых процессов. На исследованных нами пересыпях (Таблица 1) в наибольшей степени поверхность была задернована травянистой растительностью, зачастую с участием древесной (преимущественно из лоха серебристого), в лиманной ландшафтной зоне. По своему морфологическому строению почвы на пересыпях озер могут быть отнесены к отделу слаборазвитых почв, но как синлитогенного ствола, так и постлитогенного ствола (Классификация..., 2004). То есть поверхностный органо-аккумулятивный горизонт слаборазвитых почв может содержать примесь привнесенного, не ассимилированного почвообразованием минерального материала (тогда, при частой слоистости в профиле можно говорить о педолитоседиментах), так и не отражать в морфологическом строении свидетельств таких этапов развития. Для примера приведем описание профиля № 8/2 в приозерной части Кизыл-Ярской пересыпи: гор. АС, органо-аккумулятивный со средней мощностью около 10,5 см с песчаным прослоем в 1,5 см у нижней границы, ниже которого находится погребенная почва мощностью 4 см. Гор. С – крупнозернистый рыжеватый песок с включением гальки, а с 52 см выявляется устойчивый уровень грунтовых вод (за счет подпитки из оз. Кизыл-Яр).

Исследование почвообразовательного потенциала искусственных лесных насаждений при облесении песков в условиях лесостепи и степи (Лисецкий, 2008) показало, что

в первые 45 лет почвообразования средняя скорость формирования гумусового горизонта под сосной обыкновенной и крымской составляет 4–5 мм/год, а в последующие годы этот процесс замедляется. Аналогичная закономерность установлена и для процесса гумусонакопления под лесостепными и степными борами. Для почв крымских пересыпей (при возрасте почв 30–120 лет) средние скорости формирования гумусового горизонта меньше – $1,55 \pm 0,26$ мм/год, а к 300 годам они еще больше снижаются – до 0,54 мм/год, что объясняется низкой продуктивностью произрастающей на песках растительности. Сходные оценки других авторов (Гаель, Гумилев, 1966) получены при расчете скорости формирования гумусового горизонта дерново-степных почв на песках для возраста 350 лет – 0,64 мм/год.

В первое столетие запас органического углерода (Сорг.) в гумусовом горизонте почв пересыпей достигает около 16 т/га. Почвы с наибольшим содержанием Сорг. (№ 12, 10, 22) объединяет то, что это ненарушенные участки пересыпей Сакского и Соленого озер с высоким проективным покрытием, хотя и обедненными по составу растительными ассоциациями (см. Таблица 1). Средняя годовая скорость накопления запасов углерода органического вещества в почвах на пересыпях в 12–25 раз меньше, чем, например, за то же время при произрастании лесополос на черноземах европейской России (Чендев и др., 2015). В повышении плодородия и биопродуктивности песчаных почв большую роль играет содержание тонкодисперсных частиц, о чем свидетельствуют результаты экспериментов по использованию коллоидных адсорбентов при окультуривании песчаных почв Нижнего Приднепровья (Демидиенко и др., 1986). Более низкое содержание гумусовых веществ в песчаном субстрате по сравнению с суглинистым связано с ограниченными возможностями образования прочных органоминеральных соединений с высокодисперсными компонентами, которые труднодоступны для микроорганизмов. Поэтому песчаный субстрат обладает слабыми протекторными свойствами по отношению к новообразованным гумусовым веществам, что способствует их дальнейшей минерализации (Мальцева и др., 2013).

Таблица 1. Характеристика объектов исследования на аккумулятивных формах Евпаторийской группы озер

Номер объекта (см. Рис. 1)	Наименование озера	Ширина пересыпи, км	Н ^а , м	Растительная ассоциация ^б	ОПП ^с , %	Количество видов растений на 1 кв. м	Доля злаков, %
33	Аирчинское	0,17	1	З–О	30	8	25
332	Аирчинское	0,17	1	З	80	10	70
20	Галгасское	0,07	1	Р–З	90	8	38
21	Галгасское	0,07	0	Р–З	60	11	27
22	Соленое (Тереклы)	0,14	1	Р	70	8	25
23	Соленое (Тереклы)	0,08	1	Р–З	90	5	60
24	Мойнакское	0,16	1	З	95	6	33
13	Сасык-Сиваш	1,50	–1	Р	80	10	30
11	Сакское	0,025	0	С	90	8	38
12	Сакское	0,63	1	Р–З	100	5	20
10	Сакское	0,55	–1	Р–К	80	7	29
9	Сакское	0,55	–1	З	70	4	50
8/1	Кизыл-Яр	0,05	1	Р–З	35	3	67
8/2	Кизыл-Яр	0,05	1	Р–З	100	5	40

^а Абсолютные высоты; ^б Р–З – разнотравно-злаковая; З – злаковая; З–О – злаково-осоковая; Р – разнотравная; Р–К – разнотравно-ковыльная; С – сорная; ^с ОПП – общее проективное покрытие растительностью.

По мере увеличения мощности гумусового горизонта (от 70 до 150 мм) окраска почв становится обычно темнее (она меняется от слабо-коричневой (10YR 6/3) до коричневой и серовато-коричневой (10YR 5/3(5/2)) (Таблица 2). Реакция почвенного раствора у почв сильнощелочная, что в определенной степени влияет на возможности закрепления песков на пересыпях теми видами растений, которые адаптированы к этим условиям. Ясные признаки засоления в структурном состоянии почв отмечаются для почв на пересыпях озер: Мойнакского, Аирчинского, Тереклы, а также на дамбе Сакского озера, с юга замыкающей пруд «Ковш» (№ 11).

Такие факторы как генезис и свойства материнских пород, скорость геологического выветривания, гидротермический режим, биотические воздействия, а также индивидуальное соотношение педогенеза, седиментогенеза и литогенеза обуславливают состояние дисперсной системы почвы (Kalinitchenko, 2016). Учитывая особенности пробоподготовки почвенных образцов (ситовой отбор мелкозема (частиц <1 мм), измельчение рабочего образца до состояния пудры), кристаллы кварца и обломки раковин моллюсков (детрит) на результаты валового состава не оказывали определяющего влияния. Поэтому химический состав тонких фракций можно рассматривать как результат педогенеза, а в отдельных ситуациях, и как дополняющее влияние илов, которые из-за небольших высот поверхности пересыпей могли быть привнесены водными массами.

Таблица 2. Физико-химические свойства почв на пересыпях озер Евпаторийского района

№ объекта (см. Рис. 1)	Мощность гумусового горизонта, мм	Объемная масса, г/см ³	Цвет почвы (по Манселлу)	рН (Н ₂ О)	Сорг.	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
					%			мг/кг	
8/2	106±0,8	1,31	10YR 5/3	9,00	0,75	0,17	0,59	14,88	718,18
9	107±1,3	1,21	10YR 5/3	9,10	1,87	0,20	0,73	8,70	147,01
10	105±0,5	1,36	10YR 5/2	8,90	3,24	0,27	1,05	13,28	260,28
11	70±0,5	1,26	10YR 6/3	8,75	0,33	0,16	0,63	10,76	154,24
12	127±1,9	1,18	10YR 4/2	9,00	4,52	0,34	0,80	18,78	183,16
13	124±1,2	1,17	7.5YR 5/2	9,05	2,29	0,39	1,37	43,97	149,42
20	122±0,9	1,18	10YR 5/3	8,95	1,17	0,29	0,95	21,53	219,31
21	145±3,2	1,37	10YR 5/3	9,20	1,53	0,31	1,73	32,98	404,88
22	108±1,0	1,17	10YR 4/2	9,10	2,79	0,28	1,97	13,97	621,78
23	76±0,6*	1,27	10YR 5/3	9,45	1,23	0,40	0,43	28,17	171,11
24	107±0,6	1,41	10YR 6/3	9,15	0,89	0,26	0,25	13,05	159,06
332	118±0,5	1,20	10YR 6/3	8,38	0,71	0,23	0,29	8,57	146,00

* Мощность занижена из-за сильной антропогенного прессинга на почвенно-растительный покров (зона интенсивной рекреации).

Геохимические особенности наиболее широко распространенных материнских пород в Северо-Западном Крыму – лессовидных суглинков и элювия карбонатных пород рассмотрены ранее (Lisetskii et al., 2015). Результаты кластерного анализа (Рис. 2) по определявшимся химическим элементам и оксидам (TiO₂, V, Cr, MnO, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, CaO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, MgO, Rb, Ba, Zr, Na, As) показали, что супесчаные почвы группируются по своим геохимическим особенностям в два больших кластера (типа) – I и II. Особняком стоит полигенетичная почва на узкой песчаной пересыпи Кизыл-Ярского лимана – № 8/2 (описание этой самобытной почвы приведено выше).

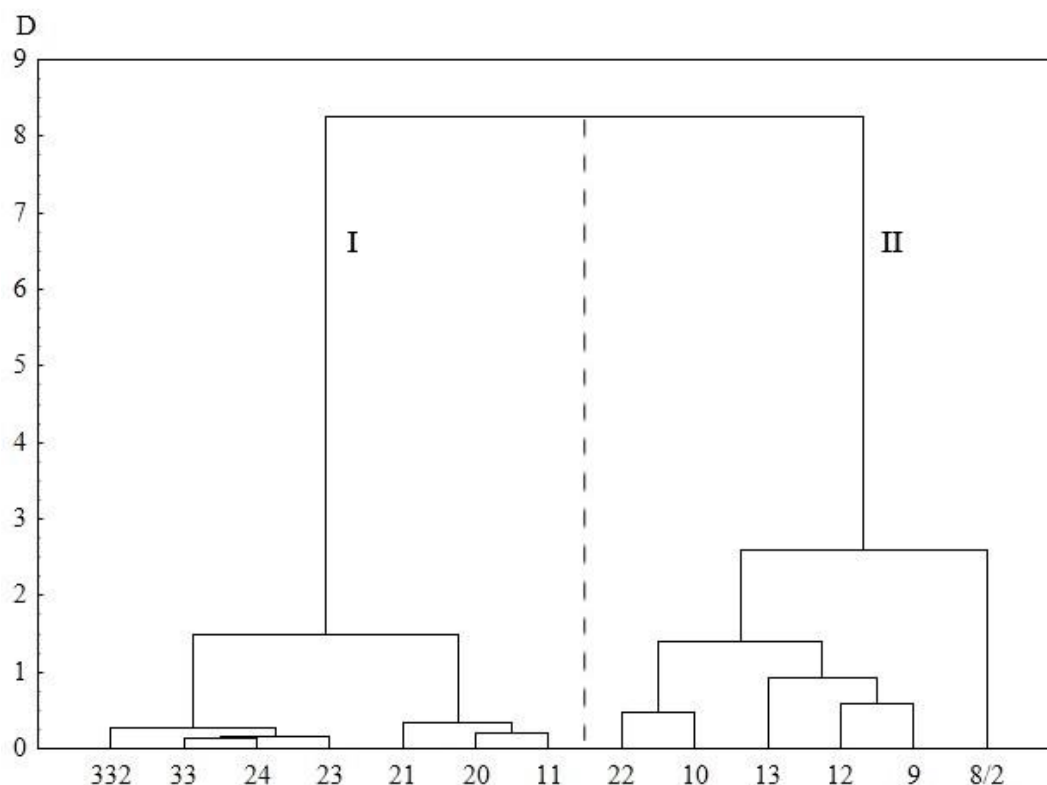


Рис. 2. Дендрограмма кластерного анализа почв по 22 химическим элементам и оксидам. D – расстояние объединения. Пояснения в тексте.

Из широкого перечня использованных геохимических показателей (Lisetskii et al., 2016 b) наиболее информативными в оценке степени онтогенетической зрелости почвенной системы оказались 12 коэффициентов (Таблица 3). Коэффициенты 1–11 показаны в ранжированном ряду по степени из различий в двух кластерах (без учета № 8/2) согласно Рис. 2.

Таблица 3. Величины наиболее информативных геохимических коэффициентов, характеризующих кластеры почвенных объектов

№№ п/п	Геохимические коэффициенты	I кластер	II кластер	№ 8/2
1	Kэ	0,38	1,82	1,97
2	$\prod_1^n (P, K, Mg, Mn, Cu)^{1/n}$	0,63	2,90	0,24
3	Ti/Ca	0,01	0,03	0,02
4	(Fe+Al)/(Ca+Na+Mg)	0,13	0,41	0,25
5	Ba/Sr	0,21	0,59	1,22
6	Al/(Ca+Na+K+Mg)	0,11	0,30	0,21
7	Ca/Zr	0,88	0,20	0,49
8	Ca/Ti	174,34	44,32	64,67
9	(Ca+Mg)/Al	12,37	3,31	4,34
19	(Ca+Mg+10*P)/Ti	201,91	55,67	75,59
11	(K+Na+Ca+Mg)/Al	13,37	3,75	4,78
12	SQi	4,06	6,17	4,34

Примечание. I кластер (№№ объектов 33, 332, 24, 23, 21, 20, 11), II кластер (№№ объектов 22, 10, 13, 12, 9).

При среднем значении CaO по всем объектам – 29,14 % различия по карбонатности между двумя группами объектов значительны: 39,08 и 17,40 % в кластерах I и II соответственно. Это во многом определяет геохимические различия этих почвенных групп с учетом того, что между содержанием CaCO₃ и CaO нами установлена эмпирическая зависимость: $\text{CaCO}_3 = 1,376 \cdot \text{CaO} + 4,858$.

Сопоставление серии геохимических коэффициентов, включающих содержание кальция, либо его сумму с Mg, Na, K (№ 7–11), в отношении более стабильных компонентов почвенной системы, показывает превышение величин этих коэффициентов в I–м кластере по отношению ко II–му в 3,6–4,4 раза. Напротив, серия геохимических коэффициентов, отражающих педогенетическое преобразование исходного субстрата (№ 1–6), демонстрирует превышение величин во II–м кластере по отношению к I–му в 2,8–4,8 раза. Таким образом, на пересыпях наиболее существенные различия двух выявленных генетических групп супесчаных почв, обусловлены, прежде всего, их карбонатностью. Это отражается и в комплексе педогенетической трансформации исходного субстрата (в физико-химических и биогеохимических аспектах).

Ранее (Маринина и др., 2014) было показано, что различия функциональной зрелости почв на пересыпях хорошо диагностирует сумма тех химических элементов, которые обычно накапливаются в почвах (P, K, Mg, Mn, Cu). В данном исследовании спектр диагностических элементов был значительно расширен. Ранжированный убывающий ряд накапливаемых макро– и микроэлементов в изученных почвах имеет следующий вид: Rb, Pb, Cu (>2) > P, Si (>1,5) > Fe > Zn > K > V > Ba > Co > Ni > Ti (>1,0). Для всего массива исследованных объектов зависимость между среднегеометрическим значением качества почв по 13 аккумуляруемым в результате педогенеза элементам (B₁₃) и приведенной мощностью гумусового горизонта может быть аппроксимирована функцией экспоненциального вида, но из-за невысокого значения тесноты связи (r=0,45) рассматривается лишь как тренд. Ранее представленные результаты кластерного анализа (Рис. 2) позволяют рассмотреть связь между функциональной и морфологической зрелостью почв дифференцировано (по двум обоснованным группам почв). И, если для I–го кластера (с наиболее карбонатными почвами) связь не обнаруживается, то для объектов, которые сформировали II кластер с наименее карбонатными почвами, установлена высокая степень зависимости между функциональной и морфологической зрелостью новообразованных почв:

$$B_{13} = 2,043e^{0,01H}, \quad r = 0,86.$$

Исключением стала пограничная между кластерами почва № 22 (на искусственной перемычке бывшего соляного промысла оз. Соленое), которая самобытна в геохимическом отношении, так как отличается от остальных почв II–го кластера более высоким содержанием кальция (в 2,4 раза), стронция (в 2 раза), а также Na и Mg. Кроме того, эта почва при сравнении с другими почвами имеет максимальное содержание валового K₂O и одно из наибольших значений в содержании обменного калия. Данные по почве № 22 в уравнение не вошли.

Таким образом, после закрепления песков (с различным участием глинистых частиц) почвообразовательный процесс в основном определяется содержанием карбонатов при заметном влиянии магния, натрия, привносимых из-за приморского положения пересыпей, а также элементов, преимущественно связанных с корневым отпадом растений, закрепляющих пески.

Существенное превышение (в 1,5 раза) качества почв для объектов, входящих во II–й кластер, по сравнению с наиболее карбонатными почвами, выявлено при оценке качества почв по содержанию в почвах необходимых для растений макро–, микроэлементов и полезных элементов (SQi). Причем связь величины SQi с возрастом почвы устанавливается только для объектов, которые формируют II–й кластер. Таким образом, с фактором времени наиболее тесно сопряжено изменение качественного состояния почв при относительно невысокой их карбонатности, верхняя граница которой в данном исследовании выявлена на уровне 17–18 % CaO.

Использование педохронологического метода датирования дневных почв (Лисецкий и др., 2016) показало, что возраст современных дневных почв на пересыпях может быть оценен в диапазоне от 30 до 300 лет. Так как в условиях рецентного (раннегенеративного) почвообразования диапазон мощности гумусового горизонта находится в довольно узких

пределах (от 70 до 140 мм), а функционально почвы существенно различаются, то можно предположить ведущую роль синлитогенного почвообразования, обусловленного постоянным действием эолового фактора. Это подтверждают практически нулевые величины рангового коэффициента корреляции между мощностью гумусового горизонта, как с показателем качества почв B₁₃, так и с SQ_i. И это при том, что, обладая определенными различиями состава включенных элементов в их расчет геохимических параметров, величина рангового коэффициента корреляции составляет между показателями B₁₃ и SQ_i 0,95. По средним рангам показателей B₁₃ и SQ_i объекты располагаются в следующий убывающий ряд: 22>13>21>10>12>20>9>8/2, 11>23>33>24>332.

По мощности новообразованной почвы можно судить о времени последнего этапа стабилизации поверхности песков, когда стал формироваться устойчивый почвенно-растительный покров. Но свойства дневных почв могут частично унаследовать результаты предшествующих этапов педогенеза, трансформированных эоловыми процессами, и потому способны отражать более продолжительное время педолитогенеза на аккумулятивных формах рельефа.

4. Заключение

В разновозрастных почвах пересыпей Евпаторийской группы озер установлен ансамбль аккумулируемых макро– и микроэлементов: Rb, Pb, Cu, P, Si, Fe, Zn, K, V, Ba, Co, Ni, Ti. Между морфологической и функциональной зрелостью слаборазвитых почв обнаруживается зависимость лишь для тех объектов, которые содержат не более 18 % оксидов кальция. В частности, для таких почв выявлена связь возраста почв и показателя, отражающего содержание необходимых для растений макро– микроэлементов и полезных элементов согласно рассмотренному перечню. Различия между морфологической и функциональной зрелостью почв на песках можно объяснить динамичностью педолитогенеза с сохранением унаследованных результатов предшествующих этапов педогенеза, трансформированных эоловыми процессами.

5. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта № 5.4711.2017/6.7 в рамках Госзадания НИУ "БелГУ" на 2017–2019 гг.

Литература

- Битюцкий, 2011 – Битюцкий Н.П. (2011). Микроэлементы высших растений. СПб: Изд-во С.–Петербург. гос. ун-та, 368 с.
- Выхованец, 2003 – Выхованец Г.В. (2003). Эоловый процесс на морском берегу: Монография. Одесса: Астропринт, 368 с.
- Гаель, Гумилев, 1966 – Гаель А.Г., Гумилев Л.Н. (1966). Разновозрастные почвы на степных песках Дона и передвижение народов за исторический период // *Изв. АН СССР. Сер. геогр.*, № 1, С. 11–20.
- Демидиенко и др., 1986 – Демидиенко А.Я., Ивашина А.Д., Павленко Е.Ф., Голобородько С.П., Иличко Н.В. (1986). Роль коллоидных органо-минеральных адсорбентов в повышении биопродуктивности и плодородия песчаных массивов Нижнего Приднепровья // *Плодородие мелиорируемых земель УССР и пути его повышения*. С. 112–118.
- Дзенс-Литовский, 1938 – Дзенс-Литовский А.И. (1938). Пересыпи и косы Крымских соляных озер // *Природа*, № 6, С. 585–595.
- Зенкович, 1958 – Зенкович В.П. (1958). Берега Чёрного и Азовского морей. М.: Гос. изд-во геогр. лит., 376 с.
- Игнатов, 2015 – Игнатов Е.И., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. (2015). Типизация берегов Крыма // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*, № 1, С. 20–28.
- Классификация..., 2004 – Классификация и диагностика почв России (2004). Смоленск: Ойкумена, 342 с.
- Лиманно-устьевые комплексы..., 1988 – Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья: географические основы хозяйственного освоения (1988). Л.: Наука, 304 с.

- Лисецкий и др., 2016 – Лисецкий Ф.Н., Столба В.Ф., Голушов П.В. (2016). Моделирование развития черноземов в зоне степи и разработка метода почвенно-генетической хронологии // *Почвоведение*, № 8, С. 918–931. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16080050>
- Лисецкий, 2008 – Лисецкий Ф.Н. (2008). Почвообразовательный потенциал лесных насаждений при облесении песков в условиях лесостепи и степи // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, № 4, С. 13–20.
- Мальцева и др., 2013 – Мальцева А.Н., Золотарева Б.Н., Пинский Д.Л. (2013). Трансформация растительных остатков кукурузы в суглинистом и песчаном субстратах // *Почвоведение*, № 10, С. 1239–1252.
- Маринина и др., 2014 – Маринина О.А., Семенюк А.П., Якущенко Д.Г. (2014). Оценка степени стабилизации аккумулятивных форм рельефа в приморской зоне западного Крыма // *Международный научно-исследовательский журнал*, № 3–3 (22), С. 120–121.
- Орлова, 2010 – Орлова М.С. (2010). Геоморфологическая оценка рекреационного потенциала побережья Северо-Западного Крыма // *Геоморфология*, № 2, С. 91–102.
- Понизовский, 1965 – Понизовский А.М. (1965). Соляные ресурсы Крыма. Симферополь: Крым, 164 с.
- Поротов, Зинько, 2017 – Поротов А.В., Зинько А.В. (2017). Развитие побережья Керченского полуострова в античное и средневековое время (по данным геoarхеологических исследований хоры Нимфея и Тиритаки) // *Материалы I Международного экологического форума в Крыму «Крым – эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития» 2017 года* / Ред. В.А. Иванова, Е.И. Игнатова, И.С. Кусова, Н.Н. Миленко, Е.В. Ясеновой, Е.А. Котельянец. Севастополь: Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в Севастополе, С. 218–222.
- Смекалова, Кутайсов, 2017 – Смекалова Т.Н., Кутайсов В.А. (2017). Археологический атлас Северо-Западного Крыма. СПб.: Алетейя, 448 с.
- Субетто и др., 2007 – Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Столба В.Ф. (2007). Исследования палеолимнологов в Крыму // *Природа*, № 12, С. 61–62.
- Чендев и др., 2015 – Чендев Ю.Г., Соэр Т.Д., Геннадиев А.Н., Новых Л.Л., Петин А.Н., Петина В.И., Заздравных Е.А., Буррас С.Л. (2015). Накопление органического углерода в черноземах (моллисолях) под защитными лесными насаждениями в России и США // *Почвоведение*, № 1, С. 49–60.
- Янко-Хомбах и др., 2011 – Янко-Хомбах В.В., Смынтына Е.В., Кадурин С.В., Ларченков Е.П., Мотненко И.В., Какаранза С.В., Киосак Д.В. (2011). Колебания уровня Черного моря и адаптационная стратегия древнего человека за последние 30 тысяч лет // *Геология и полезные ископаемые Мирового Океана*, № 2(24), С. 67–75.
- Cordova, 2016 – Cordova C. (2016). *Crimea and the Black Sea: An environmental history*. London; New York: I. B. Tauris. 235 p.
- Kalinitchenko, 2016 – Kalinitchenko V.P. (2016). Soil dynamics management // *Biogeosystem Technique*, № 4 (10), С. 284–316.
- Lisetskii et al., 2015 – Lisetskii F.N., Stolba V.F., Marinina O.A. (2015). Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use // *Geoderma*, Vol. 239-240, pp. 304–316. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.11.006.
- Lisetskii et al., 2016a – Lisetskii F.N., Matsibora A.V., Pichura V.I. (2016). Reconstruction of paleoclimatic conditions of the second half of the Holocene on the results of the study of buried and floodplain soils in the south of the East European Plain // *International Journal of Environmental Problem*, Vol. 4, Is. 2, pp. 131–148. DOI: 10.13187/ijep.2016.4.131
- Lisetskii et al., 2016b – Lisetskii F.N., Smekalova T.N., Marinina O.A. (2016). Biogeochemical features of fallow lands in the steppe zone // *Contemporary Problems of Ecology*, Vol. 9, No 3, pp. 366–375. DOI:10.1134/S1995425516030094
- Lisetskii, Chepelev, 2014 – Lisetskii F., Chepelev O. (2014). Quantitative substantiation of pedogenesis model key components // *Advances in Environmental Biology*, Vol. 8, No 4, pp. 996–1000.
- Lisetskii, Pichura, 2016 – Lisetskii F.N., Pichura V.I. (2016). Paleoecological conditions Antiquity in the Northern Black Sea region (according to the sedimentation in Lake Saki, Crimea) // *European Geographical Studies*, Vol. 11, Is. 3, pp. 83–107. DOI: 10.13187/egs.2016.11.83

Liu et al., 2009 – Liu G., Li L., Wu L., et al. (2009). Determination of soil loss tolerance of an Entisol in Southwest China // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 73, No 2, pp. 412–417.

Vestergaard, 1991 – Vestergaard P. (1991). Morphology and vegetation of a dune system in SE Denmark in relation to climate change and sea level rise // *Landscape Ecology*, Vol. 6, No 1/2, pp. 77–87.

References

Bityutskii, 2011 – Bityutskii N.P. (2011). Mikroeleenty vysshikh rastenii. SPb: Izd-vo S.–Peterb. gos. Un-ta, 368 s.

Vykhovanets, 2003 – Vykhovanets G.V. (2003). Eolovyi protsess na morskome beregu: Monografiya. – Odessa: Astroprint, 368 s.

Gael', Gumilev, 1966 – Gael' A.G., Gumilev L.N. (1966). Raznovozrastnye pochvy na stepnykh peskakh Dona i peredvizhenie narodov za istoricheskii period, *Izv. AN SSSR. Ser. geogr.*, № 1. S. 11–20.

Demidienko i dr., 1986 – Demidienko A.Ya., Ivashina A.D., Pavlenko E.F., Goloborod'ko S.P., Ilichko N.V. (1986). Rol' kolloidnykh organo-mineral'nykh adsorbentov v povyshenii bioproduktivnosti i plodorodiya peschanykh massivov Nizhnego Pridneprov'ya, Plodorodie melioriruemyykh zemel' USSR i puti ego povysheniya. S. 112–118.

Dzens-Litovskii, 1938 – Dzens-Litovskii A.I. (1938). Peresyipi i kosy Krymskikh solyanykh ozer, *Priroda*, № 6, S. 585–595.

Zenkovich, 1958 – Zenkovich V.P. (1958). Berega Chernogo i Azovskogo morei. M.: Gos. izd-vo geogr. lit., 376 s.

Ignatov, 2015 – Ignatov E.I., Luk'yanova S.A., Solov'eva G.D. (2015). Tipizatsiya beregov Kryma, *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon moray*, № 1, S. 20–28.

Klassifikatsiya..., 2004 – Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii (2004). Smolensk: Oikumena, 342 s.

Limanno-ust'evye komplekсы..., 1988 – Limanno-ust'evye komplekсы Prichernomor'ya: geograficheskie osnovy khozyaistvennogo osvoeniya (1988). L.: Nauka, 304 s.

Lisetskii i dr., 2016 – Lisetskii F.N., Stolba V.F., Goleusov P.V. (2016). Modelirovanie razvitiya chernozemov v zone stepi i razrabotka metoda pochvenno-geneticheskoi khronologii, *Pochvovedenie*, № 8, S. 918–931. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16080050>

Lisetskii, 2008 – Lisetskii F.N. (2008). Pochvoobrazovatel'nyi potentsial lesnykh nasazhdenii pri oblesenii peskov v usloviyakh lesostepi i stepi, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, № 4, S. 13–20.

Mal'tseva i dr., 2013 – Mal'tseva A.N., Zolotareva B.N., Pinskii D.L. (2013). Transformatsiya rastitel'nykh ostatkov kukuruzy v suglinistom i peschanom substratakh, *Pochvovedenie*, № 10, S. 1239–1252.

Marinina i dr., 2014 – Marinina O.A., Semenyuk A.P., Yakushchenko D.G. (2014). Otsenka stepeni stabilizatsii akkumulyativnykh form rel'efa v primorskoj zone zapadnogo Kryma, *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, № 3–3 (22), S. 120–121.

Orlova, 2010 – Orlova M.S. (2010). Geomorfologicheskaya otsenka rekreatsionnogo potentsiala poberezh'ya Severo-Zapadnogo Kryma, *Geomorfologiya*, № 2, S. 91–102.

Ponizovskii, 1965 – Ponizovskii A.M. (1965). Solyanye resursy Kryma. Simferopol': Krym, 164 s.

Porotov, Zin'ko, 2017 – Porotov A.V., Zin'ko A.V. (2017). Razvitie poberezh'ya Kerchenskogo poluostrova v antichnoe i srednevekovoe vremya (po dannym geoarkheologicheskikh issledovaniy khory Nimfeya i Tiritaki) // Materialy I Mezhdunarodnogo ekologicheskogo foruma v Krymu «Krym – ekologo-ekonomicheskii region. Prostranstvo noosfernogo razvitiya» 2017 goda / Red. V.A. Ivanova, E.I. Ignatova, I.S. Kusova, N.N. Milenko, E.V. Yasenevoi, E.A. Kotel'yanets. Sevastopol': Filial MGU imeni M.V. Lomonosova v Sevastopole, S. 218–222.

Smekalova, Kutaisov, 2017 – Smekalova T.N., Kutaisov V.A. (2017). Arkheologicheskii atlas Severo-Zapadnogo Kryma. SPb.: Aleteiya, 448 s.

Subetto i dr., 2007 – Subetto D.A., Sapelko T.V., Stolba V.F. (2007). Issledovaniya paleolimnologov v Krymu, *Priroda*, № 12, S. 61–62.

Chendev i dr., 2015 – Chendev Yu.G., Soer T.D., Gennadiev A.N., Novykh L.L., Petin A.N., Petina V.I., Zazdravnykh E.A., Burras S.L. (2015). Nakoplenie organicheskogo ugleroda v

chernozemakh (mollisolyakh) pod polezashchitnymi lesnymi nasazhdeniyami v Rossii i SShA, *Pochvovedenie*, № 1, S. 49–60.

[Yanko-Khombakh et al., 2011](#) – Yanko-Khombakh V.V., Smyntyna E.V., Kadurin S.V., Larchenkov E.P., Motnenko I.V., Kakaranza S.V., Kiosak D.V. (2011). Kolebaniya urovnya Chernogo morya i adaptatsionnaya strategiya drevnego cheloveka za poslednie 30 tysyach let, *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo Okeana*, № 2(24), S. 67–75.

[Cordova, 2016](#) – Cordova C. (2016). Crimea and the Black Sea: An environmental history. London; New York: I. B. Tauris. 235 p.

[Kalinitchenko, 2016](#) – Kalinitchenko V.P. (2016). Soil dynamics management, *Biogeosystem Technique*, № 4 (10), C. 284–316.

[Lisetskii et al., 2015](#) – Lisetskii F.N., Stolba V.F., Marinina O.A. (2015). Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, *Geoderma*, Vol. 239-240, pp. 304–316. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.11.006.

[Lisetskii et al., 2016a](#) – Lisetskii F.N., Matsibora A.V., Pichura V.I. (2016). Reconstruction of paleoclimatic conditions of the second half of the Holocene on the results of the study of buried and floodplain soils in the south of the East European Plain, *International Journal of Environmental Problem*, Vol. 4, Is. 2, pp. 131–148. DOI: 10.13187/ijep.2016.4.131

[Lisetskii et al., 2016b](#) – Lisetskii F.N., Smekalova T.N., Marinina O.A. (2016). Biogeochemical features of fallow lands in the steppe zone, *Contemporary Problems of Ecology*, Vol. 9, No 3, pp. 366–375. DOI:10.1134/S1995425516030094

[Lisetskii, Chepelev, 2014](#) – Lisetskii F., Chepelev O. (2014). Quantitative substantiation of pedogenesis model key components, *Advances in Environmental Biology*, Vol. 8, No 4, pp. 996–1000.

[Lisetskii, Pichura, 2016](#) – Lisetskii F.N., Pichura V.I. (2016). Paleoecological conditions Antiquity in the Northern Black Sea region (according to the sedimentation in Lake Saki, Crimea), *European Geographical Studies*, Vol. 11, Is. 3, pp. 83–107. DOI: 10.13187/egs.2016.11.83

[Liu et al., 2009](#) – Liu G., Li L., Wu L., et al. (2009). Determination of soil loss tolerance of an Entisol in Southwest China, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 73, No 2, pp. 412–417.

[Vestergaard, 1991](#) – Vestergaard P. (1991). Morphology and vegetation of a dune system in SE Denmark in relation to climate change and sea level rise, *Landscape Ecology*, Vol. 6, No 1/2, pp. 77–87.

Особенности почв на пересыпях Евпаторийской группы озер

Фёдор Николаевич Лисецкий^{a,*}

^a Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация

Аннотация. В приморских зонах Крыма при их высокой востребованности в рекреационных целях особенно уязвимыми стали экосистемы на аккумулятивных формах рельефа, которые занимают лишь 9 % общей протяженности береговой линии полуострова. В исследовании поставлена цель изучить морфологическое строение и физико-химические свойства разновозрастных почв, которые сформированы на аккумулятивных формах морских берегов Северо-Западного Крыма. По средним величинам мощности гумусового горизонта почв выполнена оценка времени стабилизации ненарушенных участков пересыпей в условиях непрерывного формирования почвенно-растительного покрова. Из-за низкой продуктивности растительности, которая может закрепляться на песках, средние скорости формирования гумусового горизонта почв крымских пересыпей невысоки и варьируют от 0,54 до 1,55 мм/год в зависимости от длительности педогенеза. Исследование почвенно-растительного покрова на семи пересыпях Евпаторийской группы озер показало невысокую морфологическую зрелость сформированных почв (с возрастом, который редко

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: liset@bsu.edu.ru (Ф.Н. Лисецкий)

превышает столетие) и отличие от более дифференцированной функциональной зрелости, что обусловлено разным содержанием карбонатов. Для почв с содержанием оксида кальция не более 18 % установлена зависимость между мощностью гумусового горизонта почв и функциональной зрелостью (по 13 аккумулируемым в результате педогенеза макро- и микроэлементам). Предложен перечень наиболее информативных геохимических коэффициентов, которые обобщенно характеризуют все сценарии почвообразования при самозарастании песков на аккумулятивных формах черноморского побережья. Показано, что выявленные различия между морфологической и функциональной зрелостью почв на песках обусловлены включением почвенных масс от предшествующих этапов педогенеза в современные профили в условиях высокой динамичности педолитогенеза, прежде всего, за счет активных эоловых процессов в береговой зоне.

Ключевые слова: Евпаторийские озера, почвы пересыпей, разновременные почвы, геохимия почв.