

Ф.Н. Лисецкий<sup>1</sup>, Э.А. Терёхин<sup>2</sup>, А.О. Полетаев<sup>3</sup>, Ж.А. Буряк<sup>4</sup>

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИС–ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ: ПРИМЕР СЕЛЬСКОЙ ОКРУГИ ХЕРСОНЕСА ТАВРИЧЕСКОГО, КРЫМ

### АННОТАЦИЯ

Археологические постагрогенные ландшафты характеризуются большой неоднородностью почвенного, растительного покрова и вариабельностью почвенных свойств, что обусловлено длительной историей и эволюцией земледельческих практик. Изучение таких территорий перспективно, применяя возможности ГИС-технологий и геостатистического анализа для содержательной интерпретации пространственно распределенной информации. Цель научного исследования состояла в первом изучении и комплексной оценке зрелости почвенно-растительного покрова поныне сохранившихся степных экосистем (на площади около 760 га) в античных наделах Херсонеса Таврического (юго-западный Крым), которые были созданы в IV в. до н.э. и использовались более 4-х столетий. Геоинформационный анализ позволил установить основные территориальные закономерности распределения показателей почвенно-растительного покрова (содержание органического углерода, соотношение C:N, окраска и индекс краснотности почв, проективное покрытие ковылём и степной подстилкой) и их интегральных оценок для потенциальной земледельческой зоны Херсонеса, которую принято считать включённой в земельно-кадастровую систему государства. Используя архивную космическую съёмку и аэрофотосъёмку территории сельской округи (*хоры*) Херсонеса, установлено, что частота распространения виноградного плантажа в пределах границ наделов снижается в направлении с северо-запада на юго-восток. Эта закономерность могла найти отражение в свойствах почв, которые были в древности турбированы на глубину 60–70 см (более осветлённые по окраске, менее гумусированы) и чаще представлены по данным дистанционного зондирования в северо-западной и центральной частях *хоры*. Геоинформационный анализ пространственно распределенной информации по окраске, содержанию Corg, величин C:N в залежных почвах и показателям растительного покрова подтвердил необходимость разделения хоры на две агрохозяйственные зоны, которые отражают различия в специализации земледелия (ближе к городу многолетние насаждения — сады и виноградники) и удалённые земли на юго-востоке с преимущественным зерновым хозяйством). Использование инструментов пространственного анализа для изучения древнеземледельческих районов обладает новыми возможностями выявления закономерностей в неоднородности почвенного и растительного покрова, что позволяет его рекомендовать при проведении мультидисциплинарных исследований других постагрогенных ландшафтов античного мира.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** античное земледелие, окраска почв, почвенно-растительный покров, ГИС, пространственный анализ

---

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, 308015, Белгород, Россия; *e-mail*: [liset@bsu.edu.ru](mailto:liset@bsu.edu.ru)

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, 308015, Белгород, Россия; *e-mail*: [terekhin@bsu.edu.ru](mailto:terekhin@bsu.edu.ru)

<sup>3</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, 308015, Белгород, Россия; *e-mail*: [poletaev@bsu.edu.ru](mailto:poletaev@bsu.edu.ru)

<sup>4</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, 308015, Белгород, Россия; *e-mail*: [buryak@bsu.edu.ru](mailto:buryak@bsu.edu.ru)

Fedor N. Lisetskii<sup>1</sup>, Edgar A. Terekhin<sup>2</sup>, Arseniy O. Poletaev<sup>3</sup>, Zhanna A. Buryak<sup>4</sup>

**APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES TO STUDY  
THE TERRITORIES OF THE ARCHAEOLOGICAL HERITAGE:  
A CASE OF THE RURAL DISTRICT OF TAURIC CHERSONESOS, CRIMEA**

**ABSTRACT**

Archaeological postagrogenic landscapes are characterized by large heterogeneity of soil and vegetation cover and variability of soil properties, which is due to the long history and evolution of agricultural practices. The study of such territories is promising, using the capabilities of GIS technologies and geostatistical analysis for visualization and subsequent meaningful interpretation of spatially distributed information. The purpose of the research was the first study and a comprehensive assessment of the maturity of the soil and vegetation cover of the still preserved steppe ecosystems (on an area of about 760 ha) in the ancient allotments of Tauric Chersonesos (South-Western Crimea), which were created in the 4<sup>th</sup> century BC and have been used for over four centuries. Geoinformation analysis made it possible to establish the basic territorial patterns of distribution of indicators of the land cover (organic carbon content, C:N ratio, soil colour, soil red index, projective cover with feather grass, its height and projective cover with steppe litter) and their integral estimates for a potential agricultural zone Chersonesos, which is considered to be included in the land cadastral system of the state. The frequency of distribution of the grape plantation within the boundaries of the allotments decreases in the direction from northwest to southeast, which was established using archival satellite imagery and aerial photography on the territory of the rural district of Chersonesos (*chora*). This regularity could be reflected in the properties of plantation ploughing soils that in ancient times were turbocharged to a depth of 60–70 cm (more clarified by colour, less humus), and more often represented by remote sensing data in the north-western and central part of the rural district of Chersonesos. The performed geoinformation analysis of spatially distributed information on the colour, content of Corg, and C:N values in fallow soils and vegetation cover indicators confirmed the need to divide the *chora* into two agro-economic zones, which reflect differences in the specialization of agriculture (perennial plantations closer to the city (orchards and vineyards) and remote land in the southeast with predominantly grain farming). The use of spatial analysis tools to study ancient agricultural regions has new opportunities for identifying patterns in the heterogeneity of soil and vegetation, which allows it to be recommended for multidisciplinary studies of other postagrogenic landscapes of the ancient world.

**KEYWORDS:** ancient agriculture, soil colour, soil and land cover, GIS, spatial analysis

**ВВЕДЕНИЕ**

При изучении антропогенно трансформированных ландшафтов используют различный арсенал методов: палеогеографии и исторической географии [Vampilova et al., 2018; Blyakharchuk et al., 2019], картографии [Sidorina et al., 2019], археологии [Korobov, Borisov, 2013; Zubarev et al., 2019], почвоведения [Chendev, 2005; Kuzyakov, Zamanian, 2019], археологического почвоведения [Lisetskii et al., 2013; Plekhanova, 2019], биогеохимии

---

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University, Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russia;  
e-mail: [liset@bsu.edu.ru](mailto:liset@bsu.edu.ru)

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University, Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russia;  
e-mail: [terekhin@bsu.edu.ru](mailto:terekhin@bsu.edu.ru)

<sup>3</sup> Belgorod State National Research University, Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russia;  
e-mail: [poletaev@bsu.edu.ru](mailto:poletaev@bsu.edu.ru)

<sup>4</sup> Belgorod State National Research University, Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russia;  
e-mail: [buryak@bsu.edu.ru](mailto:buryak@bsu.edu.ru)

[*Alekseev et al.*, 2018; *Zelenskaya et al.*, 2018]. При обработке пространственных данных повысить качество решений может геостатистический анализ. В условиях высокой вариабельности почвенных свойств и неоднородности почвенного покрова востребован инструментарий пространственной статистики для обработки, анализа и представления пространственно распределенной информации в агроландшафтах. Использование геостатистики успешно апробировано для изучения пространственной вариабельности почвенных характеристик [*Bitencourt et al.*, 2016; *Reza et al.*, 2017], оценки почвенного плодородия [*Özyazici et al.*, 2017; *Özen*, 2019] и решения новых задач в почвенной картографии [*Santra et al.*, 2017; *Sidorina et al.*, 2019].

Крымский п-в с большим разнообразием орографических, почвенно-климатических условий — это регион с многовековой историей виноградарства. Сельскохозяйственная округа (хора) античного города Херсонеса Таврического на Гераклеийском п-ве (Юго-Западный Крым) функционировала длительное время, начиная с периода освоения этих земель греческими колонистами (V в. до н. э.) до начала I в. н.э. [*Smekalova, Kutaisov*, 2018]. На Гераклеийском п-ве пыльца винограда (*Vitis*) в стратиграфических профилях фиксируется с начала греческого виноградарства в IV в. до н.э. [*Cordova, Lehman*, 2003]. В Северном Причерноморье на рубеже IV–III вв. до н.э. произошел переход от прохладно-влажной климатической фазы к тепло-сухой фазе<sup>1</sup>, что по археологическим данным [*Винокуров*, 2007] привело к распространению виноделен с большим объемом резервуаров и более частным появлением винодельческих хозяйств, как в городах, так и в сельских поселениях.

Херсонес Таврический как один из лучших многопериодных археологических памятников, сохранившихся где-либо в Европе [*Cleere*, 2011], неслучайно с 1989 г. претендовал на включение в список Всемирного наследия (World Heritage nomination). При этом следует заметить, что границы земельных наделов и почвы внутри наделов, хорошо сохранившиеся до настоящего времени, может быть, не так впечатляют, как руины городских кварталов, но представляют большой научный интерес [*Cordova, Lehman*, 2003; *Lisetskii et al.*, 2018]. Считается, что Херсонес Таврический являлся крупнейшим центром античного виноградарства и виноделия в Северном Причерноморье и вино было основой экспорта этого греческого города [*Винокуров*, 2007].

Цель работы состояла в установлении с помощью геоинформационного анализа основных территориальных закономерностей зрелости почвенно-растительного покрова на основе полевого обследования наиболее сохранившихся постагрогенных степных экосистем в античных наделах Гераклеийского п-ва.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вследствие того, что во второй половине XX в. основная часть сельской округи (хоры) Херсонеса была застроена или антропогенно трансформирована, старозалежные земельные участки сохранились лишь фрагментарно. Тем не менее в разных частях хоры удалось выбрать группы участков, для которых схема пробоотбора обеспечивала наибольшую частоту опробования. Это было необходимо для пространственного анализа почвенных параметров с учетом неоднородности почвенно-растительного покрова. На части территории Гераклеийского п-ва площадью 10 600 га в античное время (IV–III вв. до н. э.) располагалась ближняя хора Херсонеса, которая была размежевана примерно на 400 блоков сельскохозяйственных наделов [*Николаенко*, 2001]. Подавляющее большинство из них имели прямоугольную форму (примерно 630×420 м). Блоки наделов (клеры) были разделены сетью дорог. Сохранность территорий древнего земледелия зависит не только от антропогенной

<sup>1</sup> *Ivanov I.V., Lisetskii F.N.* Correlation of soil formation rhythms with periodicity of solar activity over the last 5000 years. Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth science sections, 1996. V. 340. No 1. P. 189–194

трансформации, но и от естественных природных процессов, в частности действия процессов денудации. Для выявления почвенно-геоморфологических связей определяют перспективно использовать возможности ГИС-анализа [Тригорьева, 2015]. С целью выявления ненарушенных эрозионными процессами систем античного землеустройства для ключевого участка на территории Гераклеяского п-ва были построены ЦМР (по данным SRTM разрешением 90 м) и автоматически выделена эрозионная сеть. Для анализа ЦМР и картографирования эрозионной сети использовали модуль SpatialAnalyst в ArcGIS 10.5 Исходная ЦМР была обработана инструментом Fill, который выявляет бессточные области и заполняет локальные понижения в рельефе, что в дальнейшем устраняет погрешности. Растр направления стока (FlowDirection) генерализован по фильтру большинства для устранения ошибочных пикселей резкого изменения направления стока. Инструмент FlowAccumulation использовали для модели потока накопления в каждую ячейку. Растр аккумуляции стока использовали для построения эрозионной сети. Растр аккумуляции был переклассифицирован по «граничному» значению, где остались лишь ячейки, соответствующие водотокам. Затем он был конвертирован в векторный формат в линейные объекты — эрозионную сеть.

Для изучения агрогенной трансформации почв на территории Гераклеяского п-ова была разработана схема отбора почвенных образцов на основе карты, отображающей наиболее сохранившиеся границы античных наделов, анализа спутниковых данных и материалов ранее выполненных полевых работ. Используются ранее полученные результаты по реконструкции границ древнего землеустройства [Смекалова и др., 2018] и оценке степени сохранности древнегреческих участков [Terekhin, Smekalova, 2019]. Карты границ античных участков и карты динамики их сохранности с 1940-х гг. использовали для создания сети пробоотбора. Планирование точек отбора производили в ArcGIS с послойным анализом спутниковых данных, сведений о степени сохранности границ античных наделов. Точки размещались таким образом, чтобы они были наиболее репрезентативны. С этой целью использовали фитоиндикацию. Оценка полноты (густоты) травостоя выражали в процентах покрытия поверхности почвы его проекцией, используя фотоэталон с шагом 10 %. Координаты, которые в камеральных условиях определяли схему пробоотбора, уточняли по результатам фитоиндикации в изучаемых земельных наделах и фиксировали навигатором.

На территории Гераклеяского п-ва в системе античного размежевания земель в 2019 г. было отобрано 85 почвенных образцов. Они охватывали 19 земельных наделов, нумерация которых дана по схеме, составленной Г.М. Николаенко [1999, с. 72–73]. Это, в т.ч., наиболее сохранившиеся к настоящему времени блоки наделов (иногда называемые клерами) с номерами 131, 224, 225, 226, 227, 240, 266, а также 49, 146, 151, 175, 192, 195, 197, 238, 240, 301, 342, 343, 402.

Границы каждого надела и внутринадельных участков были маркированы оградами, которые древние земледельцы формировали за счёт выборки камней при обработке почв. Даже в современных условиях виноградный или садово-виноградный плантаж хорошо прослеживается на задернованной поверхности (рис. 1А) и особенно отчетливо при отсутствии дернового слоя, например, на полевых дорогах (рис. 1Б).

Содержание органического вещества определяли методом, основанным на окислении органического вещества раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте (ГОСТ 26213-91), азота общего титриметрическим методом по Кьельдалю (ГОСТ 26107-84). Путём умножения значений органического вещества на коэффициент 0,579 выполняли перерасчёт на органический углерод (C<sub>org</sub>). Цвет почвенных образцов (в сухом состоянии) определяли по шкале [Munsell..., 2000]. Оптическая система Манселла использует цилиндрические координаты, что затрудняет её применение для статистических расчетов [Водяницкий, Кириллова, 2016]. Перевод значения цвета почв по шкале Манселла в показатель краснотности RCIE в системе CIE-L\*a\*b\*, которая использует универсальное цветовое пространство в декартовых координатах, был осуществлён по формуле [Hurst, 1977]: RCIE =  $[1010 \times a(a^2 + b^2)^{0.5}]/(bL6)$ . Значения параметров L, a, b были получены из таблицы

преобразование координат шкалы Манселла в систему СIE-L\*a\*b\* [Водяницкий, Кириллова, 2016].



А  
А

Б  
В

*Рис. 1. Осевые зоны плантажных стен на задернованной поверхности (А), чередование стенок виноградного плантажа на полевой дороге в наделе №131 (Б)*

*Фото Ф.Н. Лисецкого (октябрь 2019 г.)*

*Fig. 1. Axial zones of plantation walls on a sod surface (A), alternation of walls of a grape plantation on a field road in allotment No. 131 (B).*

*Photo F.N. Lisetskii (October 2019)*

Показатели состояния почвенно-растительного покрова были стандартизированы для сопоставимости по формуле

$$x_{norm} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}. \quad (1)$$

Интегральную оценку зрелости почвенно-растительного покрова (Q) рассчитывали, используя нормированные значения из формулы (1)

$$Q = (x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n)^{1/n}, \quad (2)$$

где  $x_1, x_2 \dots x_n$  — нормированные значения параметров почвенно-растительного покрова.

По нормированным показателям (общего проективного покрытия степной подстилкой, ковылём, его высоты и содержанию  $C_{org}$ ) оценивали интегральную степень зрелости почвенно-растительного покрова по формуле (2) с последующим составлением картограммы (Q1). В дополнение выполнено картографирование варианта интегральной оценки (Q2) с учётом 5-и факторов — предыдущих 4-х и показателя краснотности почв (RCIE).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сопряжённый анализ выявленных признаков древнего межевания на территории Гераклейского п-ва приурочен к участкам минимально нарушенных земель. При этом необходимо отметить, что размежеванию земель подвергалась подавляющая часть хоры. Как было показано ранее [Crimea..., 2019], используя результаты обработки данных ДЗЗ и ГИС-технологии, из площади земледельческой зоны Херсонеса (10 660 га) доля незастроенных

и открытых степных пространств уменьшилась к 2009 г. до 20,5 %. Но небольшая часть из этих земель имеет зрелый почвенно-растительный покров.

Результаты картографирования эрозионной сети показали, что её густота для участка на Гераклеийском п-ве составила 0,94 км/км<sup>2</sup> (это существенно меньше, чем вблизи Керкинитиды (1,35 км/ км<sup>2</sup>) и Керчи (1,27 км/ км<sup>2</sup>)). Широкие днища балок Гераклеийского п-ва, где развиты лугово-чернозёмные почвы, а при многовековом освоении водосборов их гумусовый горизонт приращён агрогенным делювием, имеют благоприятные условия для садоводства. При таком климате, как на Гераклеийском п-ве, где средняя температура воздуха в самый холодный месяц (февраль) составляет от 1,6 до 3 °С, риски морозоопасности из-за застоя более холодного воздуха в балках невысоки. Слой эрозионной сети был сопоставлен со слоем границ древних земельных наделов, что позволило идентифицировать ареалы земель на ключевом участке, где профили почв были наименее трансформированы эрозией (рис. 2). Прямоугольная система межевания земель с грунтово-каменными оградами по периметру наделов, которая охватила 89 % Гераклеийского п-ва, позволяла задерживать сток воды, переводя его во внутрипочвенный. Это не приводило к формированию антропогенно обусловленной эрозионной сети, как это было выявлено на сельской округе античной Ольвии, где межевые границы были созданы с помощью невысоких земляных валиков [Crimea..., 2019].

Оценка зрелости растительного сообщества по включению в его состав ковыля волосовидного (*Stipa capillata*) позволяет минимизировать риски проявления антропогенной трансформации почв хотя бы для нескольких последних десятилетий формирования экосистем. На залежах Гераклеийского п-ва нами обнаружены значительные вариации общего проективного покрытия ковылём волосовидным, его высоты и проективного покрытия степной подстилкой. В пределах обследованной территории средняя величина и диапазон общего проективного покрытия ковылём составили  $29,1 \pm 2,5$  ( $5 \div 100$ ) %, средняя высота ковыля волосовидного —  $65,1 \pm 1,3$  ( $40 \div 110$ ) см, средняя величина проективного покрытия степной подстилкой —  $87,0 \pm 1,2$  ( $50 \div 100$ ) %.

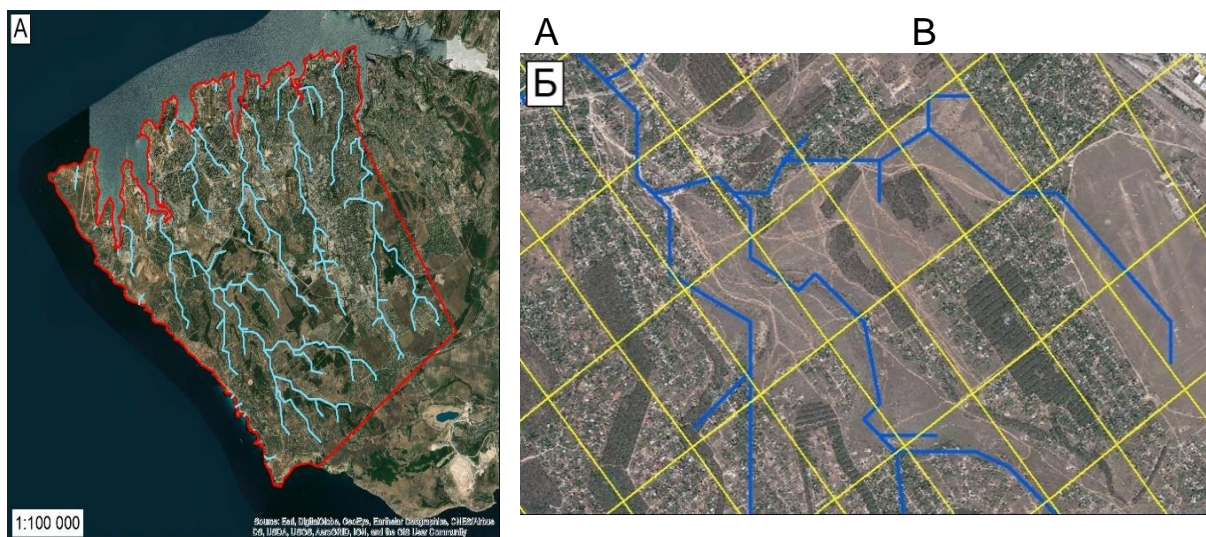
Пространственное распределение материнских пород на Гераклеийском п-ве (миоценовые известняки и глины занимают центр и восток, тогда как на северо-западе преобладают песчаники) обусловило доминирование почв легкоглинистых и щебёночных на северо-западе и в центре, тогда как на востоке в границах античного землепользования почвы формировались на карбонатном делювии и элювии известняков (эти породы имеют светло-серую или очень слабо-коричневую окраску и содержат 2,2 % общего железа). У мыса Херсонес элювий известняков имеет коричневатую и красновато-жёлтую окраску при содержании Fe 3,4 %, а глина terra rossa темно-красного цвета там же отличается более высокой концентрацией Fe — 9,4 % и оксидов Al — 19,7 % [Crimea..., 2019].

По агроклиматическому районированию [Crimea..., 2019] полуостров входит в состав Гераклеийского предгорного района со среднегодовой температурой 11,5–12 °С и суммой осадков 360 мм в год, что характеризует климат как очень засушливый. Очевидно, что такую обстановку (или несколько более гумидную, как в античную эпоху) отражает строение и свойства коричневых карбонатных почв, которые формируются в семиаридных условиях под кустарниковой и травянистой растительностью. Поскольку отбирали минеральную часть почвы (структурные отдельности диаметром <1 мм) ниже дернинного горизонта (Ад) до глубины 15–17 см, то физико-химические свойства характеризуют реликтовые признаки агропедогенеза в ренатурированном горизонте постантичных залежных почв (рис. 3).

Постантичный период залежи, установившийся с середины I в. н.э., имел такую длительность, которая, судя по имеющимся данным о почвах на археологических памятниках и по модели формирования гумусового горизонта коричневых почв<sup>1</sup> [Lisetskii, 2019],

<sup>1</sup> Lisetskii F.N., Ergina E.I. Soil development on the Crimean Peninsula in the Late Holocene. Eurasian Soil Science, 2010. V. 43. No 6. P. 601–613

определяла возможность формирования 17–19 см мощности гор. А+АВ. Оценку мощности этого горизонта, которая могла сформироваться после прекращения использования наделов, даёт также измерение параметров новообразованной почвы между камнями межевых оград. Так, в наделе № 126 мощность горизонта А составила 8 см, гумусового горизонта (А+АВ) с окраской 7.5YR 4/6 (сильно коричневой) — 15 см с содержанием Corg 4,73 %. Постагрогенные почвы формируются не на новых материнских породах, а по модели педогенеза «почва по почве», когда верхняя часть пахотного горизонта, которая в древности вовлекалась в обработку, трансформируется педогенезом в режиме ренатурации под влиянием варьирования биоклиматических условий в амплитуде зональных условий.

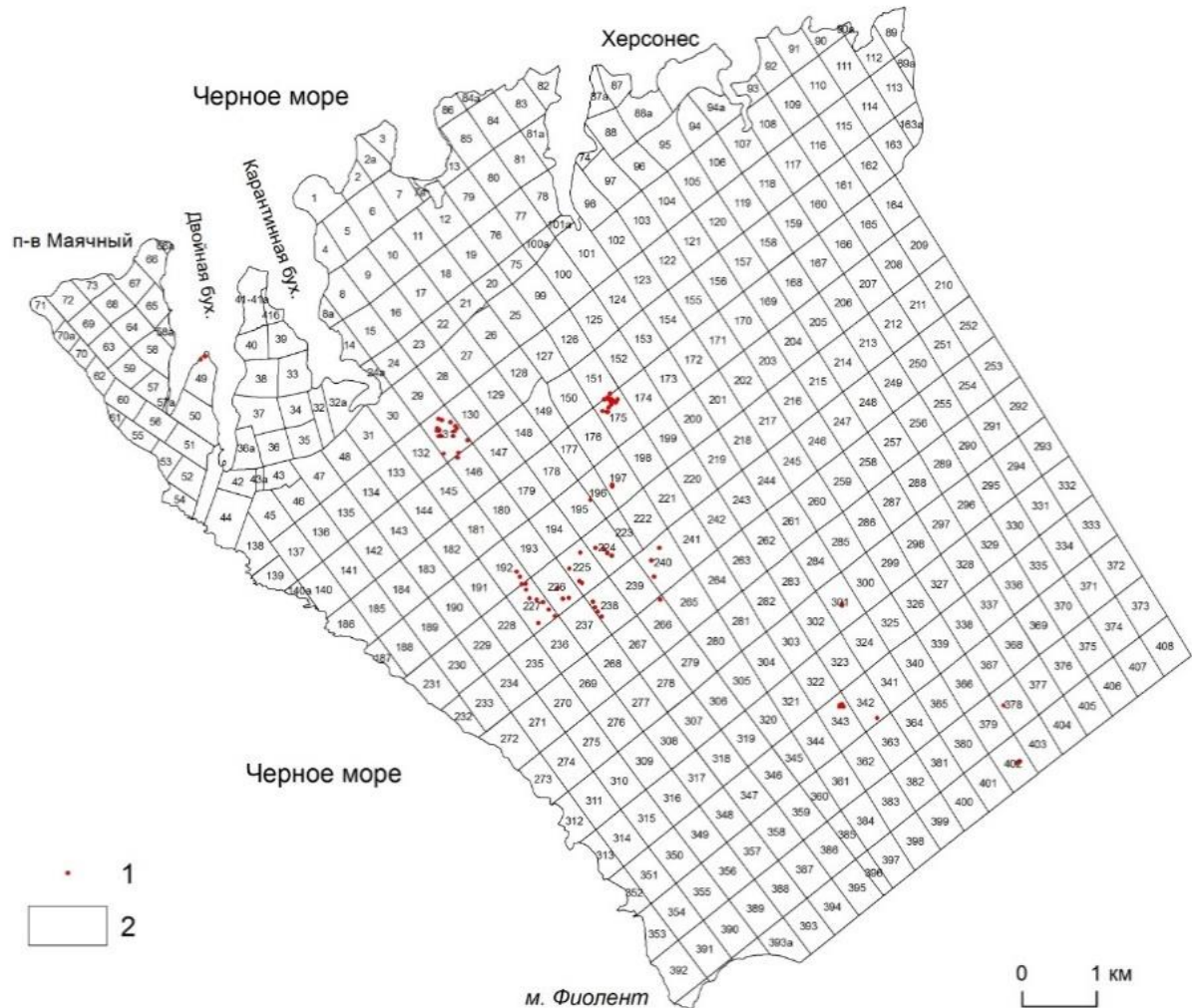


*Рис. 2. Результаты идентификации водно-эрозионной сети на территории ближней хоры Херсонеса Таврического на основе данных SRTM*  
*Fig. 2. The results of identification of the water-erosion network in the territory of the nearby choir of Tauric Chersonesos based on SRTM data*

Всего на Гераклеийском п-ве в границах античного землепользования было установлено 22 варианта окраски почвы в верхней части горизонта А (n=85). Однако по 15 градациям количество точек отбора составляло лишь от 1 до 3 включительно (табл. 1). Среди вариантов окраски почвы ясно выражено доминирование коричневой окраски (7,5 YR 4/4) (частота 32 %). Кроме того, имеются варианты окраски слабо-коричневой (10 YR 6/3) и тёмно-серовато-коричневой (10 YR 4/4) (8 и 7 % соответственно); коричневой (7,5 YR 5/4 и 10 YR 5/3) и желтовато-коричневой (10 YR 5/4) (по 6 %).

Наиболее часто (31,8 %) встречалась окраски почвы 7,5 YR 4/4 (пограничный цвет между коричневым и тёмно-коричневым), что соответствует доминированию на Гераклеийском п-ве коричневых карбонатных легкоглинистых щебёночных почв. В центре п-ва и по побережью встречаются дерново-карбонатные почвы на элювии карбонатных пород. Их верхний горизонт обычно (при частоте встречаемости 6–7 %) имеет окраску 10 YR 4/4, 10 YR 5/3 и 10 YR 5/4 (по шкале Манселла), т.е. тёмно-желтовато-коричневую, коричневую и желтовато-коричневую, соответственно. Важно отметить, что при значительной роли виноградарства в земледелии Херсонеса можно предполагать, что многие наши объекты по пробоотбору попадали в наделы с плантажированными (до 70–80 см) почвами, имевшими осветлённую окраску, в т.ч. и в результате «выгорания» органического вещества за длительный период аграрного использования. На основе проведённых оценок, выполненных

на основе архивной космической съёмки и аэрофотосъёмки, установлено, что на территории хоры в направлении с северо-запада на юго-восток снижается частота распространения виноградного плантажа в пределах границ наделов. Наибольшие ареалы его концентрации приурочены к северо-западной и центральной части северной половины хоры. Южнее полосы клеров с номерами 187–209 плантаж встречается очень редко.



*Рис. 3. Расположение объектов почвенно-генетических исследований в системе античного межевания Херсонеса Таврического (границы межевания по [Смекалова, Терёхин, 2019], нумерация наделов по [Николаенко, 1999]; 1 — Точки отбора почвенных образцов; 2 — Межевые границы*  
*Fig. 3. Location of soil genetic research objects in the system of ancient land surveying of Tauric Chersonesos (boundaries of land surveying according [Smekalova, Terekhin, 2019], numbering of plots according [Nikolaenko, 1999]; 1 — Soil sampling points; 2 — Land boundaries*

Два варианта оценки зрелости почвенно-растительного покрова были выполнены с использованием обратно взвешенного расстояния как метода интерполяции (рис. 4, А, Б, В) по 3-м нормированным показателям состояния растительности и содержанию Corg в верхнем горизонте почв (Q1); те же параметры с добавлением показателя краснотности почв RCIE (Q2). Интегральные оценки Q1 и Q2 были получены путем расчёта среднего



геометрического значения, лучше учитывающего влияние лимитирующих факторов. Чем больше значения параметра Q1, тем выше зрелость сообщества ковыля, диагностированная в полевых условиях (по большему проективному покрытию травостоя и подстилки, высоте растений), а также более гумусирована почва. Такие условия обнаруживаются в центре и на юго-востоке Гераклеийского п-ва.

Табл. 1. Окраска почв, содержание органического вещества и общего азота в смешанных образцах залежных почв из античных наделов Гераклеийского п-ва (2019 г.)

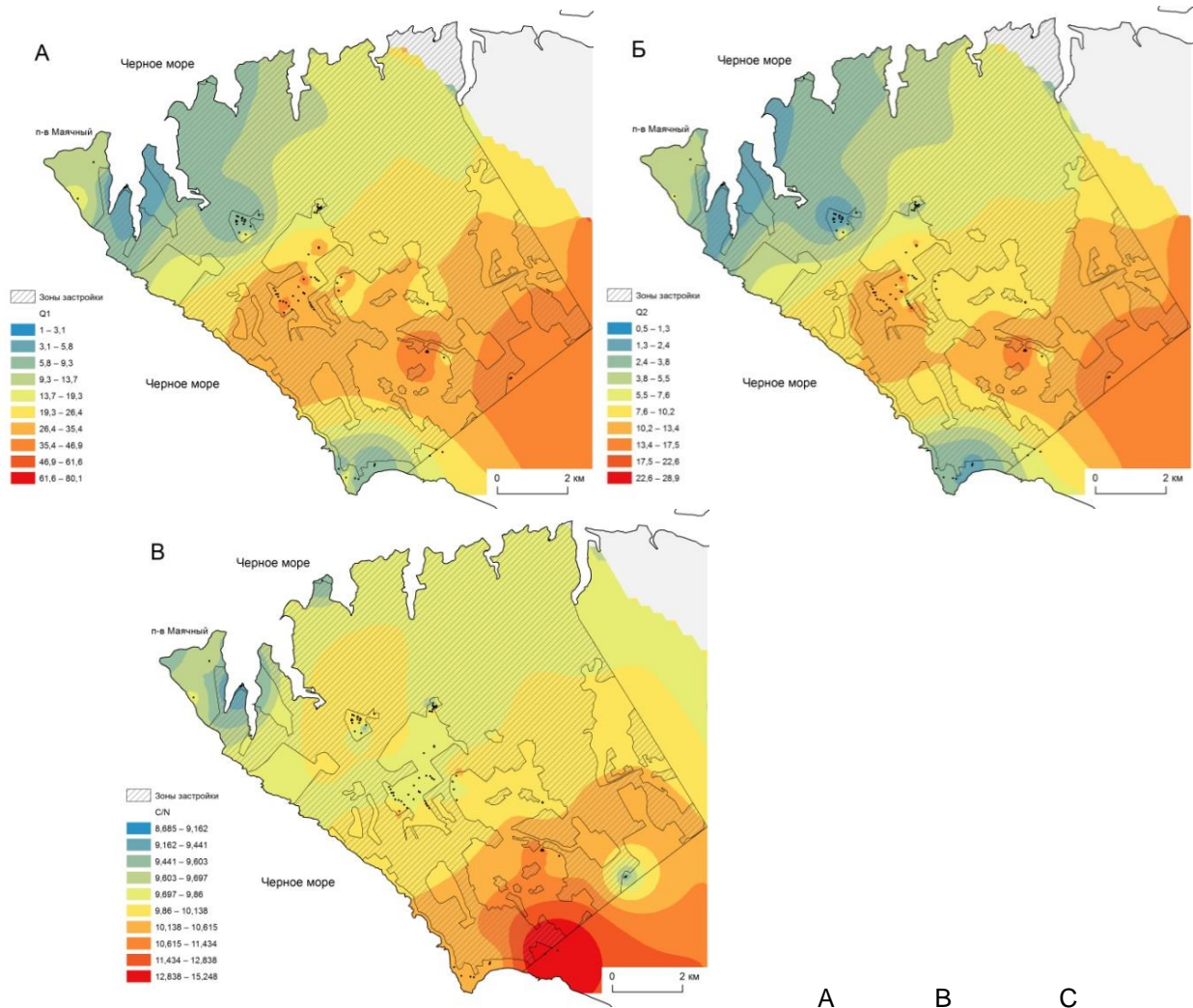
Table 1. Soil colour, organic matter and total nitrogen content in mixed samples of fallow soils from ancient allotments of the Herakleian Peninsula (2019)

Цвет почвы (сухой)*	Цвет CIE-L*a*b*	Индекс красноцветности RR (R <sub>CIE</sub> )	Органическое вещество, %	Азот общий, %	C: N
10YR 3/2	30,8/3,5/12,2	42,65	7,6	0,46	10
10YR 3/3	30,8/5,1/17,9	62,12	5,4	0,23	14
7,5YR 4/4	41,2/10/23,6	22,21	5,2	0,31	10
7,5YR 4/5	41,2/12/28,7	26,59	6,7	0,36	11
10YR 5/3	51,6/4,4/19	2,39	6,0	0,34	10
10YR 5/3,5	51,6/5,1/22,3	2,77	5,4	0,29	11
10YR 4/4	41,2/6,6/26	13,92	6,0	0,35	10
10YR 5/4	51,6/5,8/25,5	3,15	5,5	0,33	10
7,5YR 4/6	41,2/13,8/34,4	30,40	5,3	0,30	10
7,5YR 5/4	51,6/9/22,7	5,13	4,7	0,30	9
7,5YR 5/6	51,6/13,4/34,9	7,60	4,6	0,27	10
10YR 6/3	61,7/3,8/19,1	0,70	5,3	0,31	10
10YR 7/3	71,6/3,3/19,5	0,25	4,5	0,30	9
<b>Среднее</b>	—	<b>16,91</b>	<b>5,55</b>	<b>0,32</b>	<b>10</b>

\*Порядок расположения вариантов окраски почв (сверху-вниз) соответствует общему градиенту изменения светлоты (Value) по шкале Манселла: от более тёмной окраски к более светлой

Специфика почвенных условий (длительный период летней ксеропаузы) обуславливает обезвоживание оксидов железа, трансформацию соединений железа в сторону образования красного гематитового пигмента почв и формирование характерной плёнки на поверхности почвенных частиц, что визуально диагностируется по изменению интенсивности красных тонов по шкале Манселла от 7,5YR 5/6–5/8 (сильно-коричневого) до 10R 3/6 (тёмно-красного). Поскольку бурый цвет разных оттенков придаёт почве присутствие гематита и гётита, а гумус, в отличие от карбонатов, окрашивает почву в тёмный цвет [Водяницкий, Кириллова, 2016], то интегральная оценка зрелости почвенно-растительного покрова с учетом красноцветности почв (через показатель Q2) подчёркивает природную разнородность структуры почвенного покрова в северо-западной и центральной частях Гераклеийского п-ва, по сравнению с юго-восточной частью, которая к тому же была позже вовлечена в обработку античными земледельцами. По нашим данным, коричневые почвы содержат общего железа 3,1–3,6 %, тогда как у дерново-карбонатных почв на элювии плотных карбонатных пород содержание железа меньше — от 1,8–2,5 %. Эти различия в геохимии указанных почв распространяются и на такие элементы, как Al, V, Cu, Ni, Zn, Rb. С другой стороны, дерново-карбонатные почвы больше обогащены, чем коричневые почвы Ca, Sr, Mg, Na, As. Особенности материнских пород и процессы внутрипочвенного выветривания в условиях жаркого климата, как на Гераклеийском п-ве, обуславливают обогащение коричневых почв оксидами железа, которые придают красным винам интенсивную окраску, а некоторым белым винам придают золотистые тона [Lisetskii et al., 2018].

Статистическая зависимость органического углерода (Corg) в горизонте А постагро-генных почв от индекса красочности (RR) проявляется более значимо, когда почвы содержат Corg >3,2 %. Такие условия характеризуют целинные условия у коричневых горных карбонатных легкоглинистых щебёночных почв с тёмно-коричневой окраской 7,5 YR 4/5 (наделы № 240, 227), тёмно-желтовато-коричневой 10 YR 4/4 (например, № 343, 175 и др.) и очень тёмно-серовато-коричневой 10 YR 3/2 (№ 402).



*Рис. 4. Распределение показателей постантичных залежей с помощью методов пространственной статистики на территории Гераклейского п-ва: точки описания растительности и отбора почв в 2019 г. среднегеометрический балл зрелости почвенно-растительного покрова — Q1 (А); среднегеометрический балл зрелости почвенно-растительного покрова и цвета почв — Q2 (Б); величины соотношения С: N (В).*

*Fig. 4. Distribution of the indicators of the post-antique long-term fallow land using spatial statistics on the territory of the Heracleian Peninsula: points of description of vegetation and soil in 2019, the geometric mean maturity score of the land cover is Q1 (A); the geometric mean score of the maturity of the soil and vegetation cover and the colour of soils is Q2 (B); the ratio C: N (B)*

В среднем для исследованных почв из античных наделов Гераклейского п-ва обогащённость гумуса азотом (по соотношению С: N) оценивается как средняя (табл. 1). Зависимость величины соотношения С: N от индекса красочности (RR) была

аппроксимирована регрессионным уравнением линейного вида:  $C: N = 0,0472 \times RR + 9,2457$  при величине коэффициента корреляции  $r = 0,748$ . Эта зависимость наиболее хорошо отражается в области, при которой величины соотношения  $C: N > 10$ , т.е. когда происходит переход от средней к низкой оценке уровня обогащения гумуса азотом (по шкале [Орлов и др., 2004]). В этих случаях почвы имеют тёмно-коричневую окраску 7,5 YR 4/5 и 10 YR 3/3.

В распределении величин соотношения  $C: N$  (рис. 4, В) с использованием метода интерполяции — обратно взвешенные расстояния, видна устойчивая закономерность увеличения величин с северо-запада, где доминируют коричневые горные карбонатные почвы, на юго-восток, т.е. от оценок (по [Орлов и др., 2004]) среднего уровня обогащения гумуса азотом до низкой и очень низкой. Это обусловлено иной структурой почвенного покрова на юго-востоке Гераклейского п-ва (встречаемостью в комплексах с аazonальными разновидностями коричневыми почв дерново-карбонатных почв на элювии плотных карбонатных пород на более высоких гипсометрических уровнях, чем на северо-западе и в центре).

Более высокие значения интегральной оценки зрелости почвенно-растительного покрова, основанные на квазиклиматном состоянии формации ковыля и большей интенсивности красных тонов в окраске почв, позволяют определить в пространственном распределении величин  $Q$  (среднегеометрических оценок) те ареалы почв, для которых агрогенные трансформации были либо кратковременными, либо отсутствовали вовсе. Картосхемы пространственного распределения величин  $Q1$  и  $Q2$  убедительно показывают, что наиболее высокие значения интегральных оценок зрелости почвенно-растительного покрова наблюдаются в юго-восточной части Гераклейского п-ва, за исключением окрестностей мыса Фиолент.

## ВЫВОДЫ

Геоинформационный анализ пространственно распределённой информации об окраске залежных почв на территории Гераклейского п-ва позволил выделить 2 различные зоны неоднородности почвенного покрова по значениям индекса красноцветности  $RR$ : 1) северо-западную и окрестности мыса Фиолент; 2) центр и юго-восток п-ова, границей между которыми может считаться величина индекса  $RR = 15,5$ . Этой граничной величине  $RR$ , соответствующей тёмно-желтовато-коричневой окраске по шкале Манселла и более высоким значениям индекса красноцветности, соответствуют признаки педогенеза коричневых горных карбонатных почв в условиях, которые наиболее близкие к целинным.

Установленные территориальные различия находят своё подтверждение и на картограммах, которые построены по распределению величин  $C: N$ , содержанию  $Сорг$  в почве и показателям растительного покрова (общего проективного покрытия ковылём волосовидным, его высоты и проективного покрытия степной подстилкой). Это позволяет предположить менее длительные земледельческие нагрузки в центральной и юго-восточной частях Гераклейского п-ва и, вероятно, их отсутствие в самой южной приморской зоне.

Таким образом, методический подход, основанный на использовании объективных процедур геостатистического анализа для изучения древнеземледельческих районов, обладает возможностями глубокого анализа закономерностей при характеристике вариативности свойств почв и неоднородности почвенного и растительного покрова, обладает эвристическими возможностями, что позволяет его рекомендовать при проведении геоархеологических исследований для других территорий античного мира. Перспективы дальнейших исследований определяются возможностью применения геостатистического подхода для характеристики неоднородности биогеохимической трансформации почв в античных наделах различной специализации (под полевые культуры или многолетние насаждения) с использованием специализированных ансамблей химических элементов как индикаторов агропедогенеза в памяти постагрогенных почв.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-00-00562.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The reported research was funded by Russian Foundation for Basic Research, grant No 18-00-00562.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Винокуров Н.И.* Виноградарство и виноделие античных государств Северного Причерноморья. Боспорские исследования, 2007. Т. 3. С. 22–39.
2. *Водяницкий Ю.Н., Кириллова Н.П.* Перевод цветковых показателей почвы из системы Манселла в систему CIE–L\*a\*b\*: таблицы и примеры расчёта. Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 2016. № 4. С. 3–11.
3. *Григорьева О.И.* Геоинформационный анализ почвенно-геоморфологических связей в целях рациональной организации агроландшафтов на бассейновых принципах. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 2015. Т. 30. № 3 (200). С. 157–166.
4. *Николаенко Г.М.* Хора Херсонеса Таврического. Земельный кадастр IV–III вв. до н.э. Севастополь: Херсонес Таврический, 1999. Ч. 1. 84 с.
5. *Сидорина И.Е., Позднякова Н.А., Паниди Е.А., Андреева Т.А., Литвинова М.В.* Интеграция традиционных и современных методов в геоинформационном картографировании. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 35–46.
6. *Смекалова Т.Н., Терёхин Э.А.* Архивные аэрофотоснимки 1941–44 гг. — документальный источник по изучению хоры Херсонеса Таврического. Ч. I. Гераклеийский сборник. Материалы и источники по изучению хоры Херсонеса Таврического. Вып. II. СПб.: Алетейя, 2019. 348 с.
7. *Смекалова Т.Н., Терёхин Э.А., Пасуманский А.Е.* Реконструкция античной системы межевания хоры Херсонеса Таврического с использованием методов дистанционного зондирования. Вестник древней истории, 2018. Т. 78. № 2. С. 306–332.
8. *Alekseev A., Alekseeva T., Kalinin P., Hajnos M.* Soils response to the land use and soil climatic gradients at ecosystem scale: Mineralogical and geochemical data. Soil and Tillage Research, 2018. V. 180. P. 38–47.
9. *Bitencourt D.G.B., Barros W.S., Timm L.C., She D., Penning L.H., Parfitt J.M.B., Reichardt K.* Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil levelling effects on physico-chemical properties. Soil and Tillage Research, 2016. V. 156. P. 63–73.
10. *Blyakharchuk T., Prikhodko V., Kilunovskaya M., Li H.-C.* Vegetation and climate reconstruction based on pollen and microbial records derived from burial mounds soil in Tuva Republic, Central Asia. Quaternary International, 2019. V. 507. P. 108–123.
11. *Chendev Yu.G.* Soils in the area of the antique town of Kitei (the Crimean Peninsula). Eurasian Soil Science, 2005. V. 38. No 8. P. 834–842.
12. *Cleere H.* The Chersonesos management plan: A cautionary tale. Conservation and Management of Archaeological Sites, 2011. V. 13. No 1. P. 76–83.
13. *Cordova C.E., Lehman P.H.* Archaeopalynology of synanthropic vegetation in the chora of Chersonesos, Crimea, Ukraine. Journal of Archaeological Science, 2003. V. 30. No 11. P. 1483–1501.
14. *Crimea: The history of interaction between man and nature.* New York: Nova Science Publishers, 2019. 183 p.

15. *Hurst V.J.* Visual estimation of iron in saprolite. *Geological Society of America Bulletin*, 1977. V. 88. No 2. P. 174–176.
16. *Korobov D.S., Borisov A.V.* The origins of terraced field agriculture in the Caucasus: New discoveries in the Kislovodsk basin. *Antiquity*, 2013. V. 87. No 338. P. 1086–1103.
17. *Kuzyakov Y., Zamanian K.* Reviews and syntheses: Agropedogenesis — humankind as the sixth soil-forming factor and attractors of agricultural soil degradation. *Biogeosciences*, 2019. V. 16. No 24. P. 4783–4803.
18. *Lisetskii F.* Estimates of soil renewal rates: applications for anti-erosion arrangement of the agricultural landscape. *Geosciences*, 2019. V. 9. No 6. 266.
19. *Lisetskii F., Zelenskaya E., Rodionova M.* Geochemical features of fallow land in ancient plots in the chora of Chersonesos. *Geosciences*, 2018. V. 8. No 11. P. 410–421.
20. *Lisetskii F.N., Goleusov P.V., Chepelev O.A.* The development of Chernozems on the Dniester–Prut interfluvium in the Holocene. *Eurasian Soil Science*, 2013. V. 46. No 5. P. 491–504.
21. *Munsell soil color charts: year 2000. Revised Washable Edition.* GretagMacbeth Grand Rapids. MI. New Windsor, 2000.
22. *Özen F.* Evaluation of soil fertility in citrus planted areas by geostatistics analysis method. *Eurasian Journal of Soil Science*, 2019. V. 8. No 4. P. 351–363.
23. *Özyazici M., Dengiz O., Sağlam M., Erkoçak A., Türkmen F.* Mapping and assessment-based modeling of soil fertility differences in the central and eastern parts of the Black Sea region using GIS and geostatistical approaches. *Arabian Journal of Geosciences*, 2017. V. 10. No 2. P. 45–54. DOI: 10.1007/s12517-016-2819-6.
24. *Plekhanova L.N.* Anthropogenic degradation of soils on river terraces in the Volga–Ural Region in the Bronze Age and its effect on the modern soil–plant cover. *Arid Ecosystems*, 2019. V. 9. No 3. P. 187–192.
25. *Reza S.K., Nayak D.C., Mukhopadhyay S., Chattopadhyay T., Singh S.K.* Characterizing spatial variability of soil properties in alluvial soils of India using geostatistics and geographical information system. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2017. V. 63. No 11. P. 1489–1498.
26. *Santra P., Kumar M., Panwar N.* Digital soil mapping of sand content in arid western India through geostatistical approaches. *Geoderma Regional*, 2017. V. 9. P. 56–72.
27. *Smekalova T.N., Kutaisov V.A.* Role of Chersonessian polis in the development of north-west Tauris in hellenistic time. *Stratum Plus*, 2018. No 3. P. 353–370.
28. *Terekhin E.A., Smekalova T.N.* Study of ancient land boundaries at Tauric Chersonesos using satellite images. *Ancient Civilizations from Scythia to Siberia*, 2019. V. 25. No 1. P. 44–58.
29. *Vampilova L.B., Kostovska S.K., Krylova A.N., Lobkovsky V.A., Lobkovskaya L.G.* The analysis of the existing techniques of the ecological and geographical assessment of the regions of Russia. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2018. V. 18. P. 913–920.
30. *Zelenskaya E., Pichura V., Domaratsky Y.* Priorities of agroecological monitoring of the composition of soil trace elements taking into account the peculiarities of its formation over time. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018. V. 13. No 14. P. 5807–5813.
31. *Zubarev V., Smekalov S., Yartsev S.* Materials for the ancient landscape reconstruction in the Adzhel landscape compartment in the Eastern Crimea (the first stage research results). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2019. V. 23. P. 993–1013.

## REFERENCES

1. *Alekseev A., Alekseeva T., Kalinin P., Hajnos M.* Soils response to the land use and soil climatic gradients at ecosystem scale: Mineralogical and geochemical data. *Soil and Tillage Research*, 2018. V. 180. P. 38–47.
2. *Bitencourt D.G.B., Barros W.S., Timm L.C., She D., Penning L.H., Parfitt J.M.B., Reichardt K.* Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil levelling effects on physico-chemical properties. *Soil and Tillage Research*, 2016. V. 156. P. 63–73.

3. *Blyakharchuk T., Prikhodko V., Kilunovskaya M., Li H.-C.* Vegetation and climate reconstruction based on pollen and microbial records derived from burial mounds soil in Tuva Republic, Central Asia. *Quaternary International*, 2019. V. 507. P. 108–123.
4. *Chendev Yu.G.* Soils in the area of the antique town of Kitei (the Crimean Peninsula). *Eurasian Soil Science*, 2005. V. 38. No 8. P. 834–842.
5. *Cleere H.* The Chersonesos management plan: A cautionary tale. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 2011. V. 13. No 1. P. 76–83.
6. *Cordova C.E., Lehman P.H.* Archaeopalynology of synanthropic vegetation in the chora of Chersonesos, Crimea, Ukraine. *Journal of Archaeological Science*, 2003. V. 30. No 11. P. 1483–1501.
7. *Crimea: the history of interaction between man and nature.* New York: Nova Science Publishers, 2019. 183 p.
8. *Grigor'eva O.I.* The geoinformation analysis of soil and geomorphological communications for the rational organization of agrolandscapes on the basin principles. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*, 2015. V. 30. No 3 (200). P. 157–166 (in Russian).
9. *Hurst V.J.* Visual estimation of iron in saprolite. *Geological Society of America Bulletin*, 1977. V. 88. No 2. P. 174–176.
10. *Korobov D.S., Borisov A.V.* The origins of terraced field agriculture in the Caucasus: New discoveries in the Kislovodsk basin. *Antiquity*, 2013. V. 87. No 338. P. 1086–1103.
11. *Kuzyakov Y., Zamanian K.* Reviews and syntheses: Agropedogenesis – humankind as the sixth soil-forming factor and attractors of agricultural soil degradation. *Biogeosciences*, 2019. V. 16. No 24. P. 4783–4803.
12. *Lisetskii F.* Estimates of soil renewal rates: applications for anti-erosion arrangement of the agricultural landscape. *Geosciences*, 2019. V. 9. No 6. 266.
13. *Lisetskii F., Zelenskaya E., Rodionova M.* Geochemical features of fallow land in ancient plots in the chora of Chersonesos. *Geosciences*, 2018. V. 8. No 11. P. 410–421.
14. *Lisetskii F.N., Goleusov P.V., Chepelev O.A.* The development of Chernozems on the Dniester–Prut interfluvium in the Holocene. *Eurasian Soil Science*, 2013. V. 46. No 5. P. 491–504.
15. *Munsell soil color charts: year 2000. Revised Washable Edition.* GretagMacbeth Grand Rapids. MI. New Windsor, 2000.
16. *Nikolaenko G.M.* The Chora of Tauric Chersonesos. The land cadastre of the 4<sup>th</sup>–3<sup>rd</sup> century BC. Sevastopol: Tauric Chersonesos, 1999. P. 1. 84 p. (in Russian).
17. *Özen F.* Evaluation of soil fertility in citrus planted areas by geostatistics analysis method. *Eurasian Journal of Soil Science*, 2019. V. 8. No 4. P. 351–363.
18. *Özyazici M., Dengiz O., Sağlam M., Erkoçak A., Türkmen F.* Mapping and assessment-based modeling of soil fertility differences in the central and eastern parts of the Black Sea region using GIS and geostatistical approaches. *Arabian Journal of Geosciences*, 2017. V. 10. No 2. P. 45–54.
19. *Plekhanova L.N.* Anthropogenic degradation of soils on river terraces in the Volga–Ural Region in the Bronze Age and its effect on the modern soil–plant cover. *Arid Ecosystems*, 2019. V. 9. No 3. P. 187–192.
20. *Reza S.K., Nayak D.C., Mukhopadhyay S., Chattopadhyay T., Singh S.K.* Characterizing spatial variability of soil properties in alluvial soils of India using geostatistics and geographical information system. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2017. V. 63. No 11. P. 1489–1498.
21. *Santra P., Kumar M., Panwar N.* Digital soil mapping of sand content in arid western India through geostatistical approaches. *Geoderma Regional*, 2017. V. 9. P. 56–72.
22. *Sidorina I.E., Pozdnyakova N.A., Panidi E.A., Andreeva T.A., Litvinova M.V.* Integration of traditional and modern methods in GIS-based mapping. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference.* Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. No 1. P. 35–46 (in Russian).
23. *Smekalova T.N., Kutaisov V.A.* Role of Chersonessian polis in the development of north-west Tauris in hellenistic time. *Stratum Plus*, 2018. No 3. P. 353–370.

24. *Smekalova T.N., Terekhin E.A.* Archival aerial photographs from 1941–44 — documentary source for studying of the chora of Tauric Chersonesos. Part I. Heracleon collection. Iss. II. St. Petersburg: Aletheia, 2019. 348 p. (in Russian).
  25. *Smekalova T.N., Terekhin E.A., Pasumanskiy A.E.* Reconstructing the ancient land division system of Tauric Chersonesos with the aid of remote sensing. *Journal of Ancient History*, 2018. V. 78. No 2. P. 306–332 (in Russian).
  26. *Terekhin E.A., Smekalova T.N.* Study of ancient land boundaries at Tauric Chersonesos using satellite images. *Ancient Civilizations from Scythia to Siberia*, 2019. V. 25. No 1. P. 44–58.
  27. *Vampilova L.B., Kostovska S.K., Krylova A.N., Lobkovsky V.A., Lobkovskaya L.G.* The analysis of the existing techniques of the ecological and geographical assessment of the regions of Russia. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2018. V. 18. P. 913–920.
  28. *Vinokurov N.I.* Viticulture and wine production in the antique states of the Northern Black Sea area. *Bosporos studies*, 2007. V. 3. P. 22–39 (in Russian).
  29. *Vodyanitskii Yu.N., Kirillova N.P.* Transformation of Munsell color coordinates to CIE-L\*a\*b\* system: tables and calculation examples. *Herald of Moscow University. Series 17. Soil science*, 2016. No 4. P. 3–11 (in Russian).
  30. *Zelenskaya E., Pichura V., Domaratsky Y.* Priorities of agroecological monitoring of the composition of soil trace elements taking into account the peculiarities of its formation over time. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018. V. 13. No 14. P. 5807–5813.
  31. *Zubarev V., Smekalov S., Yartsev S.* Materials for the ancient landscape reconstruction in the Adzhel landscape compartment in the Eastern Crimea (the first stage research results). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2019. V. 23. P. 993–1013.
-