

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЕОСТАТИСТИКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
АГРОГЕННЫХ И ПОСТАГРОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ПОЧВ
(НА ПРИМЕРЕ АНТИЧНОГО ЗЕМЕЛЬНОГО НАДЕЛА В КРЫМУ)**

В статье представлены результаты использования геостатистики для диагностики степени агрогенной трансформации почв в типичном земельном наделе античного времени. Соотнесение содержания геохимически подвижных химических элементов с содержанием стабильных (литогенных) элементов позволяет в постагрогенном горизонте почв диагностировать как результат ренатурации, так и реликтовые признаки агрогенной трансформации. Для территориальной дифференциации этих особенностей в границах античного землеустройства высокую информативность обеспечивает применение методов геостатистики.

Ключевые слова: геостатистика, античное землеустройство, биогеохимия почв

F. Lisetskii, A. Poletaev, fnliset@mail.ru
Belgorod State University, Belgorod, Russia

**APPLICATION OF GEOSTATISTICAL METHODS FOR DIAGNOSTICS
OF AGROGENIC AND POST-AGROGENIC SOIL TRANSFORMATIONS
(A CASE STUDY IN ANCIENT LAND PLOT, CRIMEA)**

The results of using geostatistics for diagnostics of the degree of agrogenic transformation of soils in a land allotment typical of ancient times are presented in the article. Correlating the content of geochemically mobile chemical elements with the content of stable (lithogenic) elements allows diagnosing both the result of renaturation and relict signs of agrogenic transformation in the post-agrogenic soil horizon. The territorial differentiation of these features within the boundaries of ancient land management is reliably ensured by the use of geostatistics methods.

Keywords: geostatistics, ancient land management, soil biogeochemistry

В древнеземледельческих районах античного землепользования за счет отражения в степных почвах длительного сельскохозяйственного использования могут быть установлены трансформации морфологического строения профиля и почвенных свойств эволюционной размерности [3]. Комплексное почвенно-генетическое и биогеохимическое изучение почв под виноградниками позволяет проводить дифференциацию по ампелозэкологическим критериям древнеземледельческих ландшафтов под многолетними насаждениями [2]. Объектом изучения выбран уникальный по сохранности земельный надел, связанный с усадьбой IV-II вв. до н. э., относящейся к херсонесской сельской округе (дальней хоре) Северо-Западного Крыма. Надел был открыт у мыса Ойрат в 1960-е гг. А.Н. Щегловым, который по аэрофотоснимкам и следам каменных оград определил границы шести частей усадебного надела под полеводство, виноградарство и садоводство [6]. Путем визуального осмотра ориентации оград исследователь составил схему землеустройства, по которой в составе надела было выделено шесть разновеликих полей, три из них (почти 70%) общей площади занимали виноградники, которые маркировались по плантажным стенам, отстоящих друг от друга в среднем на 2 м (ширина рабочей полосы 1,3-1,5 м). Принципиально новое понимание системы землеустройства было получено по результатам геомагнитной съемки 2011 г., когда была определена общая площадь земельного участка в 7,7 га (210×371 м) [5].

Следует отметить, что в рамках концепции терруара [9], по которой особенности земельного участка с многолетними насаждениями определяются такими ключевыми факторами, как климат и почва, практики виноградарства, перенесенные с Юго-Западного Крыма (Гераклейский п-ов), должны были адаптироваться к отличающемуся району виноградарства в Северо-Западном Крыму [4]. Однако, в наделе у мыса Ойрат и модули землеустройства, и технологии обработки почв аналогичны херсонесским. Приусадебный надел по результатам объективной реконструкции [5] делится на западную прямоугольную часть (3×4 стандартных модуля античного землеустройства (52,5×52,5 м)) и восточную – квадратной формы (4×4 модуля). Плантажные стены на участке южной экспозиции были ориентированы с СЗ на ЮВ по градиенту слабопологого склона, что, как считается [5], обеспечивало лучшие условия для освещённости и дренажа. При проведении плантажа (создании стен) выборка затронула камни со средним размером ($n=31$) 18 см на 13 см. Созданные под виноградный плантаж междурядья имеют в настоящее время мощность гумусового горизонта от 33 до 36 см.

В позднеантичное время плантажные стены были разобраны на глубину вспашки под полевые культуры, что затронуло центральную зону надела. В это же время в западной части 4 крайних поля были переорганизованы (стены плантажа через один ряд были разобраны для укрепления оставшихся оград, что позволило увеличить ширину междурядий до 5 м под садово-виноградный массив: плодовые деревья выступали опорой для виноградного растения). При перепланировке в этом виде плантажа выборка стен затронула толщу до 70 см. (Вблизи городища Калос-Лимен, по времени функционирования синхронного усадьбе у м. Ойрат аналогичная перепланировка виноградника под садово-виноградный плантаж и зерновые культуры приходится на 90-80-е гг. III в. до н. э. (через 40-50 лет после первой закладки виноградника)). Перепланировке в восточной части надела у м. Ойрат не были подвергнуты два поля со стандартным модулем, сохранившие специализацию на выращивании винограда.

Координаты 34 точек, где проводили отбор почвенных образцов, были установлены с помощью высокоточного GNSS приемника (*Trimble*). Использование навигатора такого класса была обусловлена необходимостью точного определения мест отбора почв между стенами плантажа (при расстоянии междурядий от 2 до 5 м) с последующей верификацией по привязанной схеме результатов геомагнитной съемки [8]. База данных координат мест отбора почвенных образцов была сконвертирована в точечный слой объектов в ПО *ArcGIS*.

Почва – карболитозем турбированный среднесуглинистый (доля частиц < 0,01 мм составляла от 32 до 40%) слабощепнистый. Отборы почвенных образцов проводили ниже дернового горизонта (при его наличии) в слое ренатурации почв от 3(4) до 16 см и на аналогичной глубине в почвах фоновых территорий (в окрестностях, но вне зоны античного размежевания). Содержание 23 макро- и микроэлементов было определено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на спектрометре «Спектроскан МАКС-GV». Эти результаты в базе данных координат были присоединены к таблице атрибутов точечного слоя объектов. Классификационное сходство объектов определяли путем интерпретации результатов кластерного анализа (метод Уорда, Евклидова дистанция, значения были нормированы по среднеквадратическому отклонению).

Исследование опирается на ранее полученный опыт использования комплекса геохимических показателей для реконструкции границ агрохозяйственных зон вблизи античной Керкинитиды (VI в. до н. э. – II в. до н. э.) [7], применяя геостатистические методы [1]. В частности, были использованы уже апробированные 6 диагностических показателей, которые могут выступать индикаторами длительности и интенсивности земледельческой нагрузки на почвы:

$$S_1 = \frac{Rb}{Sr}, S_2 = \frac{Ba}{Sr}, S_3 = \sum(Ni, Cu, Cr, Ba, V, Pb), S_4 = \frac{Ca+Sr+Mg+Na}{Ti}, \\ S_5 = \frac{Fe+Al}{Ca+Na+Mg}, S_6 = \frac{Ca+Mg+10*P}{Ti}.$$

При разной структуре показателей $S_1 - S_6$ они характеризуют отдельные аспекты педогенных процессов, преимущественно выноса (выщелачивания) или накопления химических элементов. Причем результаты агрогенных воздействий на почвы диагностируются через увеличение (для S_4, S_6) или уменьшение (для S_{1-3}, S_5) величин показателей. В этой связи нормирование значений показателей выполняли по соответствующим формулам:

$$x_{n(i)} = \frac{x_i}{x_{\max(i)}} \text{ (для } S_{1-3,5}) \text{ и } x_{n(i)} = \frac{x_{\min(i)}}{x_i} \text{ (для } S_{4,6}),$$

где $x_{n(i)}$ – нормированные значения показателей; x_i – абсолютные значения показателей; $x_{\min(i)}$, $x_{\max(i)}$ – минимальные и максимальные значения i -го показателя.

Интегральный показатель агрогенных изменений почв (S_Σ) определялся путем суммирования нормированных значений диагностических показателей для каждой из 34 точек отбора почвенных образцов. С помощью интерполяции по методу обратно-взвешенных расстояний (ОВР) была построена картосхема распределения интегрального показателя S_Σ .

Результаты иерархической классификации постагрогенных почв (Рис. 1) показали, что почвы под садово-виноградным плантажем по сравнению с почвами фоновых территорий в большей степени обогащены такими химическими элементами, как As, Ca и S, а также отличаются по меньшей концентрации свинца.

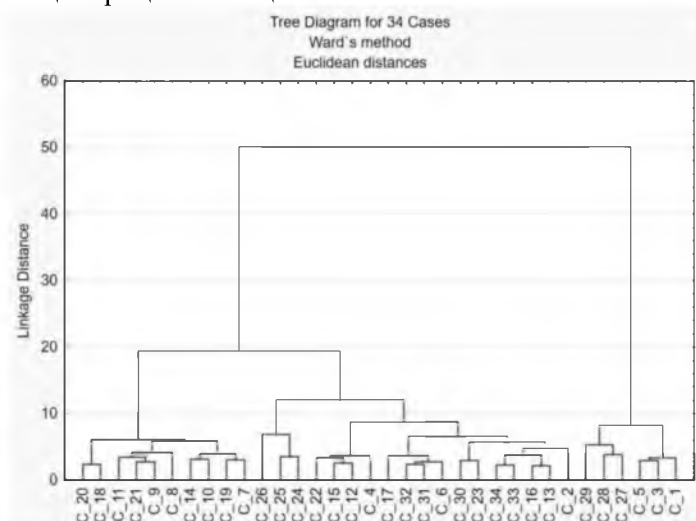


Рис. 1. Дендрограмма кластерного анализа по 23 макро-и микроэлементам в постагрогенном горизонте почв в античном земельном наделе на мысе Ойрат

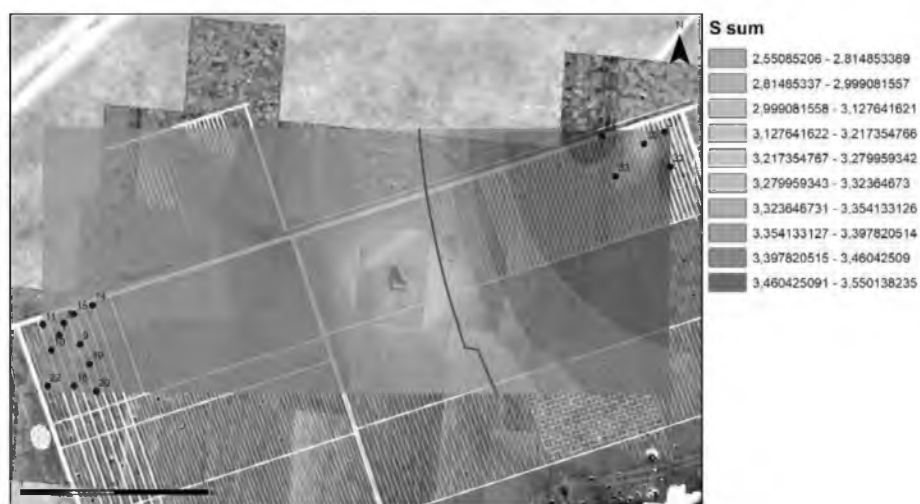


Рис. 2. Распределение интегрального показателя агрогенных изменений почв (S_Σ) в пределах земельного участка на мысе Ойрат. В подложке – результаты реконструкции системы античного землепользования на основе геомагнитной съемки [8]

Для постагрогенных почв под виноградным плантажем в сравнении с фоновыми условиями отмечается более высокое содержание As, Cu, Zr. Реликтовые признаки различий в агрогенной трансформации почв под многолетними насаждениями наиболее ясно проявляются, если сравнивать постагрогенные почвы под виноградным плантажем (с узкими (2 м) междурядьями) с почвами под садово-виноградным плантажем с широкими междурядьями (5

м). Первые из них отличаются от вторых более высоким содержанием в почве следующего ансамбля элементов (Pb, V, Cu, Zr, Rb, Fe, Si, Ni), а также пониженным содержанием Ca, Na, Sr.

Анализ территориальных закономерностей распределения интегрального показателя S_{sum} (S_{Σ}) позволяет обосновать основную границу биогеохимической разнородности постагрогенных почв под виноградным плантажем (в северо-восточной части земельного участка), где установлены величины S_{Σ} от 3,27 до 3,55, и под садово-виноградным плантажем (в юго-западной части земельного участка), где величины S_{Σ} снижаются от 2,55 до 3,22 (Рис. 2). С точки зрения потенциального плодородия постагрогенные почвы под виноградным плантажем можно оценить как более плодородные по сравнению с почвами под садово-виноградным плантажем, так как у первых сумма биофильных элементов (K, Mn, Fe, Ni, Zn, Cu) на 9,6 % больше, а сумма литогенных элементов (Ca, Sr, Mg, Na) на 10,5 % меньше. Основная причина указанных различий заключается в различиях интенсивности трансформации корнеобитаемого слоя (садово-виноградный плантаж в юго-западной части земельного участка был вторичным после создания плантажа под виноградник). Определенное влияние оказывало также более высокое гипсометрическое положение северо-восточной части земельного участка, и то обстоятельство, что более низкой интенсивности водно-эрозионных процессов могло способствовать сохранение узких (шириной 2 м) междурядий за весь период античного земледелия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>

Библиографический список

1. Буряк Ж.А. Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А. Использование ГИС-технологий и гео-статистики для дифференциации агрохозяйственных зон древнеземледельческих районов // Геоинформатика. 2016. № 4. С. 28-35. EDN: XDMUAB
2. Зеленская Е.Я., Маринина О.А. Геоэкологическая оценка почв в основных районах виноградарства Крымского полуострова//Региональные геосистемы. 2021.Т.45. №2.С.258-268. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-258-268 EDN: KLUYLN
3. Лисецкий Ф.Н., Бызов А.А. Изменение почв Сухой Степи при длительном сельскохозяйственном использовании // Материалы Всесоюзной научно-практической конференции "Вклад молодых ученых и специалистов в интенсификацию сельскохозяйственного производства". Ч. 2, Алма-Ата / Казахский сельскохозяйственный институт. 1989. С. 80-81. EDN: RJJLHC
4. Лисецкий Ф.Н., Зеленская Е.Я. Ампелопедологические особенности географических районов виноградарства Крыма // Почвоведение. 2022. № 12. С. 15401556. DOI: 10.31857/S0032180X22600688 EDN: OWKFCl
5. Смекалова Т.Н. Еще раз об античном наделе у мыса Ойрат в Северо-Западном Крыму // Вестник древней истории. 2013. № 2. С. 127-147. EDN: QMVZBT
6. Щеглов А.Н. Полис и хора. Симферополь: Таврия, 1976. 176 с.
7. Lisetskii F.N., Smekalova T.N., Marinina O.A. Biogeochemical features of fallow lands in the steppe zone // Contemporary Problems of Ecology. 2016. Vol. 9. No. 3. P. 366-375. DOI: 10.1134/S1995425516030094 EDN: WVXYPT
8. Smekalova T.N., Bevan B.W., Chudin A.V., Garipov A.S. The discovery of an ancient Greek vineyard // Archaeological Prospection. 2016. Vol. 23. No. 1. P. 15-26. DOI: 10.1002/arp.1517 EDN: WNOODD
9. Van Leeuwen C., Seguin G. The concept of terroir in viticulture. Journal of wine research. 2006. Vol. 17. No. 1. P. 1-10. DOI: 10.1080/09571260600633135