

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА РЕНАТУРАЦИИ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

Лисецкий Федор Николаевич, д.г.н., профессор  
Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет,  
E-mail: fnliset@mail.ru

Изучены особенности аккумуляции биогенных элементов и геохимической трансформации (по литогенным элементам) в постагрогенном горизонте почв с разной степенью карбонатности из 80 земельных наделов античного межевания в Херсонесе. Установлено, что в плантажированных почвах горизонт аккумуляции имеет более высокие концентрации у 68 % из общего числа химических элементов в сравнении с почвообразующими породами. Эти почвы отличаются превышениями над фоновыми значениями (у эталонных почв под лесом и степью) содержания 7–8 элементов, но в их числе нет таких потенциальных загрязнителей как Cu, Pb, Co, As.

**Ключевые слова:** постагрогенные почвы, биогеохимия почв, литогенные элементы, биогенные элементы, почвенный мониторинг

## RESULTS OF MONITORING THE PROCESS OF RENATURATION OF POSTAGROGENIC SOILS IN SOUTHWESTERN CRIMEA

Fedor N. Lisetskii, D.Sc. (Geography), Professor  
Belgorod State National Research University  
E-mail: fnliset@mail.ru

The features of the accumulation of nutrients and geochemical transformation (based on lithogenic elements) in the postagrogenic horizon of soils with varying degrees of carbonate content from 80 land plots of the ancient boundary system in the South-Western Crimea were studied. Soils that experienced plantation ploughing in ancient times have higher concentrations in the accumulative horizon of 68 % of the total number of chemical elements in comparison with parent rocks. These soils are distinguished by their content of 7–8 elements exceeding the background values of reference soils (under forest and steppe), but they do not include such potential pollutants as copper, lead, cobalt and arsenic.

**Keywords:** post-antique long-term fallow land, soil biogeochemistry, lithogenic elements, biogenic elements, soil-ecological monitoring

Почвенно-экологический мониторинг почв включает диагностику, прогноз и управление состоянием почв в целях формирования комплексной программы по расширенному воспроизводству их плодородия. Понимание того, что почвенные деградации определяются не только некомпенсируемым круговоротом веществ в системе «почва – растение», но и негативными последствиями от использования агроприемов, контроль над состоянием почв включает как количественные показатели эффективного плодородия, так и качественные индикаторы экологического состояния и «здоровья» почв.

В историко-географической периодизации Северного Причерноморья особое место занимает период эллинизма (IV–II вв. до н. э.), когда проявились

такие процессы, как интенсивное и регламентированное землеустройством многопрофильное растениеводство (полевых и многолетних культур), интродукция средиземноморских культур, формирование товарных отраслей в аграрном производстве. Этому прогрессу сопутствовали почвенно-деградационным процессы (пастбищная дигрессия, дегумусирование агропочв, увеличение темпов дефляции и водной эрозии почв и др.) [5].

Крупнейшим центром античного виноградарства и экспортером вина в Северном Причерноморье был Херсонес Таврический. Сельская округа города на Гераклейском полуострове функционировала от основания греческих усадеб (около V в. до н. э.) до начала I в. н. э. При масштабном расширении на землях Гераклейского полуострове (около 12 тыс. га) агрозоны в IV в. до н. э. было размежевано 10 тыс. га земель на 430 наделов. Под виноградный плантаж создавали траншею до 70–80 см с укладкой камней в плантажные стены при ширине между ними около 2 м. Ландшафты Гераклейского полуострова – это предгорья на неогеновых карбонатных породах с коричневыми горными щебнистыми и дерново-карбонатными почвами, сформированными под можжевеловыми лесами, кустарниками и фриганоидно-разнотравными степями. Очевидно, что при размежевании земель часть древесно-кустарниковой растительности была сведена, но даже после проведения плантажной обработки почв часть реликтов тысячелетней эволюции почв в составе лесных экосистем могли сохраниться. Плантажированные агропочвы унаследовали геохимические особенности элювия карбонатных пород.

Разработанные ранее принципы территориальной организации почвенно-экологического мониторинга [3], в том числе позволяющие использовать методы геостатистики, оказались неприемлемы из-за значительной застройки территории, бывшей сельской округой Херсонеса. Детальный анализ результатов космической съемки показал, что лишь 21 блок земельных наделов из 430 сохранился к 2010-м гг. хотя бы наполовину [6]. В 80 наиболее сохранных наделах проводили отбор образцов в верхней части гор. А (от нижней границы  $A_d$  до 13–15 см). Общая выборка образцов почв ( $n = 92$ ) была разделена на два их рода: карбонатные и остаточно-карбонатные с содержанием  $CaCO_3$  34 и 13 % ( $n = 52$  и 40). Концентрацию в почвах макро- и микроэлементов определяли методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа в порошкообразных пробах. Результаты по оксидам были пересчитаны в содержание элементов. С учетом специфики педогенеза региона был определен перечень основных литогенных (Ca, Sr, Mg, Na) и биогенных элементов (P, K, Mn, Fe, Zn, Ni). Интегральные оценки по этим группам получали путем расчета среднегеометрического значения (SQn). Геохимическую однородность выборки определяли с учётом того, что с помощью химических элементов, содержащихся в устойчивых к выветриванию минералов можно оценить однородность материала. Величины соотношения  $1000 \cdot Ti/Zr$  составили для всей выборки  $2,58 \pm 0,04$  при средней вариации ( $V = 15 \%$ ), а для карбонатных и остаточно-карбонатных почв  $2,72 \pm 0,04$  и  $2,42 \pm 0,03$ . Частота случаев превышения средней величины  $1000 \cdot Ti/Zr$  в 1,2 раза составила лишь 8 %. Это указывает на то, что после проведения плантажа почв, которые в основном занимали автономные ландшафтные

позиции, и длительного этапа ренатурации экосистем аллохтонный вклад не имел существенного значения.

С учетом того, что южное побережье Крымского полуострова находится на северной границе субтропического пояса, а Юго-Западный Крым в настоящее время относится к типу субсредиземноморского ландшафта, древние земледельцы вынуждены были сформировать агротехнологию виноградарства, адаптированную и к своеобразным климатическим условиям, и к биогеохимическим особенностям местных почв. При проведении селекции важно было использовать аборигенные сорта, которые обеспечивают «потомкам» большую степень адаптации к заморозкам, сохраняя при этом возможность, невзирая на климатические различия, накапливать, например, сходный антоциановый комплекс [1]. Исследованиями палеоботаников на Гераклеийском полуострове [7] установлено, что отправным для селекционной работы был местный сорт дикого винограда. Почвы в наделах Херсонеса отличаются от других регионов античного виноградарства Крыма [4] более высоким содержанием элементов, которые влияют на вкусовые качества вин (Fe, Si, Mn, K, Rb).

Среднее содержание органического вещества в гор. А постантичных залежных почв равно  $4,78 \pm 0,21$  %. Сравнение с материнскими породами показало, что 15 из 22 химических элементов имеют более высокое содержание в постагрогенном горизонте почв; по меди величины сопоставимы, а у шести элементов отмечено более высокое содержание в материнской породе. Показатель соотношения концентрации элементов в залежных почвах по сравнению с местными материнскими породами позволяет определить ранжированный ряд в порядке уменьшения величины: Pb (1,8) > Si, As (1,7) > K (1,6) > P, Mn, V (1,5) > Al, Rb (1,4) > Zn, Ti (1,3) > Ni, Ba (1,2) > Cr, Fe (1,1). Ансамбль элементов обеднения в постагрогенном горизонте почв можно представить следующим ранжированным убывающим рядом: Zr (0,9) > Co (0,8) > Sr (0,7) > Ca, Mg, Na (0,5).

Природные почвы Гераклеийского полуострова еще до потенциальных агротехногенных воздействий античного земледелия характеризовались повышенным содержанием ряда тяжелых металлов (Cu, Ni, Fe, Pb, Mn, Cr) из-за геохимических особенностей региона, что показали фоновые геохимические показатели почв под лесом и степью (между м. Айя и Балаклавой) [4]. Сравнение величин регионального геохимического фона (РГФ) показало, что под лесом формируются почвы, более богатые в биогеохимическом отношении, чем под степью, что отражается в превышении концентраций более чем в два раза у 14 химических элементов из 25. У степных почв зонального облика в верхней части гор. А фиксируется более высокое содержание Pb, Co а также SiO<sub>2</sub>, чем у почвы под лесом.

В постагрогенных почвах помимо природных процессов педогенеза, вероятно, сказалось и влияние антропогенного фактора, что отражается в повышенном содержании Pb, As и частично фосфора. Это отчетливо проявляется при сравнении с величинами РГФ. При сравнении среднего содержания 12 тяжелых металлов / металлоидов (ТММ) по всем точкам отбора со средними (для степных и лесных условий педогенеза) величинами РГФ сформирован

ранжированный ряд превышений РГФ:  $Mn > Sr > Cr > V > Ba > Zn > Ni > V > Fe$ . Постагрогенные горизонты почв обеднены, чем РГФ, по As, Pb, Cu, Co. Т.к. степной педогенез был более масштабным на Гераклеийском полуострове и до агарного освоения земель Херсонеса, и в залежном режиме целесообразно сделать уточнение в ранжированных рядах превышения над РГФ карбонатными и выщелоченными почвами: ( $Sr > Cr > Ba > Zn > Ni > V > Mn$ ) и ( $Cr > Ba > Mn > V > Ni > Sr > Zn > Fe$ ) соответственно. Примечательно, что для обоих родов почв не было превышения РГФ по содержанию Cu, Pb, Co, As, т. е. элементов, отражающих влияние агрогенеза на почвы. Высокое содержание меди наиболее показательно для почв под виноградниками. Результаты экологического мониторинга почв современных виноградников Крыма [2] показывали, что содержание в почвах таких ТММ, как As, Pb, Ni, Cu, V, Cr, на концентрации которых влияет применение медного купороса (в качестве фунгицида), гербицидов, других агрохимикатов, уже начинают превышать уровни ПДК. Из всей, выборки постагрогенных почв ( $n = 92$ ) при среднем содержании меди 35 мг/кг только в 29 и 12 % случаев отмечено превышение этого элемента над РГФ, установленным для степных и лесных условий почвообразования – 39 и 48 мг/кг соответственно. Превышение ОДК (132 мг/кг) не было обнаружено. Притом, что почвы в виноградниках интенсивного типа содержат меди от 80 до 486 мг/кг [9]. Длительно используемые виноградники Большого Севастополя также аккумулировали медьсодержащие препараты. Например, в результате анализа верхнего слоя почвы (в ряду и междурядье) на оставленном 20 лет назад винограднике, возделываемом около 60 лет, и расположенном в наделе № 378, установлено содержание меди 66–100 мг/кг. В этом же земельном наделе отмечено более высокое содержание кобальта и цинка, чем в почве постантичной залежи.

Ранее [8] для оценки степени и длительности агрогенной трансформации почв Крыма был предложен набор индикаторов, в их числе результативным оказался коэффициент элювиирования ( $K_3$ ), рассчитываемый по формуле:  $K_3 = Ti / (Mn + Ca + K + Mg + Na)$ . По усредненным данным величины  $K_3$  составили у выщелоченных почв 0,05, у карбонатных почв 0,02, что диагностирует более активный (в 2,75 раз) процесс выщелачивания при меньшей (в 2,64 раз) карбонатности почв. Залежные постантичные почвы, которые не достигли значительной степени выщелачивания, характеризуются меньшей интегральной оценкой степени аккумуляции элементов-биофилов ( $SQ_4 = 2,16$ ), по сравнению с остаточно-карбонатными почвами, у которых величина  $SQ_4$  больше (2,69). По соотношению величин интегральных оценок по биогенным и литогенным элементам выщелоченные коричневые почвы в 2,2 раза более эффективны, чем высококарбонатные почвы в формировании ресурсов почвенного плодородия, закрепляя в постарогенном горизонте больше таких элементов-биофилов, как P, K, Mn, Fe, Zn, Ni. Оценка карбонатных почв по литогенным элементам ( $SQ_6$ ) выше в 1,8 раз, чем у более выщелоченных почв, из-за повышенного содержания Ca (в 2,6 раз), Sr и Na (в 1,7 раз) и Mg. За счёт более высокой концентрации Mn и Fe (в 1,6 и 1,5 раз), а также K и Ni (в 1,3 раз) (из числа шести элементов-

биофилов) остаточно-карбонатные почвы характеризуются лучшим (на 18 %) качеством по сравнению с карбонатными почвами.

Результаты изучения постагрогенных горизонтов почв и сравнение биогеохимических ассоциаций элементов, отражающих превышение концентраций биогенных элементов над материнскими породами (P, K, Mn, Zn, Ni, Fe) и над величинами геохимического фона (Mn, Zn, Ni, Fe), создают информационную основу для фундаментальных представлений об эффективности педогенеза при длительной (многовековой) ренатурации плантажированных почв и скорости становления биогеохимической зрелости почвенной системы в её приближении к квазиравновесному состоянию.

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

### Список литературы

1. Дейнека Л.А., Литвин Ю.Ю., Дейнека В.И. Критерии для классификации винограда по антоциановому комплексу плодов // Региональные геосистемы. 2008. № 7 (47). С. 71–78.
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.
3. Лисецкий Ф.Н. Территориальная организация экологического мониторинга // Региональное природопользование и экологический мониторинг. Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 1996. С. 112–114.
4. Лисецкий Ф.Н., Зеленская Е.Я. Ампелопедологические особенности географических районов виноградарства Крыма // Почвоведение. 2022. № 12. С. 1540–1556.
5. Лисецкий Ф.Н. Периодизация антропогенно обусловленной эволюции степных экосистем // Экология. 1992. № 5. С. 17–25.
6. Николаенко Г.М., Смекалова Т.Н., Терехин Э.А., Пасуманский А.Е. Атлас ближней хоры Херсонеса Таврического. Санкт-Петербург: Алетейя, 2020. Т. 1. 292 с. (Археологические атласы Северного Причерноморья. Вып. 3).
7. Николаенко Г.М., Янушевич З.В. Культурные растения из раскопок сельской округи Херсонеса // Краткие сообщения Института археологии. 1981. Вып. 168. С. 27.
8. 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, № 3. P. 366–375.
9. Sirbu-Radasanu D.S. et al. Geochemical assessment of soil potentially toxic elements from Copou-Iasi vineyard area (NE Romania) // Analele Stiintifice de Universitatii AI Cuza din Iasi. Sect. 2, Geologie. 2015. Vol. 61, № 1/2. P. 5–19.