

ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

УДК: 631.4:504.5(282.247)

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-4-67-83

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

**Дубас В. В.¹, Алексахин И. В.², Горбунова Т. Ю.³, Горбунов Р. В.⁴, Керимов И. А.⁵,
Каширина Е. С.⁶**

¹ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

299011, г. Севастополь, просп. Нахимова, д. 2, Российская Федерация

Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник Российской академии наук (филиал Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН)

298188, г. Феодосия, пгт. Курортное, ул. Науки, д. 24, Российская Федерация

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

295007, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4, Российская Федерация

² Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник Российской академии наук (филиал Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН)

298188, г. Феодосия, пгт. Курортное, ул. Науки, д. 24, Российская Федерация

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

295007, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4, Российская Федерация

³ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук

299011, г. Севастополь, просп. Нахимова, д. 2, Российская Федерация

⁴ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук

299011, г. Севастополь, просп. Нахимова, д. 2, Российская Федерация

⁵ Институт истории естествознания и техники имени С. И. Вавилова Российской академии наук

125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 14, Российская Федерация

⁶ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук

299011, г. Севастополь, просп. Нахимова, 2, Российская Федерация

Поступила в редакцию 02.09.2024

После доработки 26.10.2024

Принята к публикации 31.10.2024

Аннотация

Цель. Определить эколого-геохимические особенности эталонных лугово-черноземных почв Крыма для ведения экологического мониторинга.

Процедура и методы. Почвенные профили заложены на мало трансформированных участках, на поймах и надпойменных террасах рек в типичных условиях формирования лугово-черноземных почв. Выполнено полевое описание почвенных разрезов, отобраны пробы из каждого почвенного горизонта. Ключевыми геохимическими методами исследования почвенных образцов являются ИК-спектроскопия и рентгенофлуоресцентная спектрометрия. Статистическая обработка полученных результатов и расчёт геохимических показателей (коэффициент концентрации, суммарный коэффициент загрязнения почв) выполнены с использованием программных пакетов Statistica, Origin, Excel.

Результаты. Определены морфогенетические особенности почв лугово-черноземного ряда в предгорной части Крыма, включающие формирование в условиях повышенного увлажнения, высокое содержание гумуса, вскипание по всему профилю от HCl, оглеение нижних горизонтов. В химическом составе рассмотренных почвенных разрезов преобладают Ca, Fe и Si, что обусловлено естественными процессами их формирования – свойствами карбонатных и кварцсодержащих горных пород, подвижностью железа в периодически переувлажненных восстановительных условиях. Рассчитанные коэффициенты концентрации отражают тенденцию к рассеиванию анализируемых химических элементов (Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Ni, Fe, Zn, Rb, Sr, Zr) и накоплению таких элементов, как As (Кк 5-26), Br (Кк 25-33), Cu (Кк 1-2), Co (Кк 1-2) в верхних почвенных горизонтах, что может быть связано с опосредованным влиянием сельского хозяйства. Суммарный коэффициент загрязнения исследуемых почв находится в допустимых пределах (наибольшие значения для разреза R1=9,0 и R3=11,3), что характеризуется удовлетворительным эколого-геохимическим состоянием почв¹.

Теоретическая и/или практическая значимость заключается в возможности применения полученных результатов для мониторинга состояния окружающей среды и моделирования поведения отдельных элементов в близлежащей агроэкосистеме.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, геохимический спектр, экологический мониторинг

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы КНС-ПЗ РАН № 124052000057-0 «Мониторинг климатически активных веществ в наземных экосистемах Республики Крым в условиях изменения климата и антропогенного воздействия с применением дистанционных методов исследований».

Original Research Article

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF MEADOW-CHERNOZEM SOILS OF CRIMEAN PENINSULA

V. Dubas¹, I. Aleksashkin², T. Gorbunova³, R. Gorbunov⁴, I. Kerimov⁵, E. Kashirina⁶

¹ A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
prosp. Nakhimova 2, Sevastopol 299011, Russian Federation

¹ МУ2.1.7.730-99 Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы

T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS (Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS)

ul. Nauki 24, Kurortnoe, Feodosiya 298188, Russian Federation

V. I. Vernadsky Crimean Federal University

prosp. Academica Vernadskogo 4, Simferopol 295007, Russian Federation

² *T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS*

(Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS)

ul. Nauki 24, Kurortnoe, Feodosiya 298188, Russian Federation

³ *A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS*

prosp. Nakhimova 2, Sevastopol 299011, Russian Federation

⁴ *A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS*

prosp. Nakhimova 2, Sevastopol 299011, Russian Federation

⁵ *S. I. Vavilov Institute of Natural Sciences and Technology history of Russian Academy of Sciences*

ul. Baltiiskaya 14, Moscow 125315, Russian Federation

⁶ *A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS*

prosp. Nakhimova 2, Sevastopol 299011, Russian Federation

Received 02.09.2024

Revised 26.10.2024

Accepted 31.10.2024

Abstract

Aim. The aim of this work is to determine the ecological and geochemical characteristics of the reference meadow-chnozem soils of Crimea for environmental monitoring.

Methodology. The soil profiles were laid on weakly transformed areas, on floodplains and above-floodplain terraces of rivers in typical conditions of formation of meadow-chnozem soils. A field description of soil sections was completed, and samples were taken from each soil horizon. The key geochemical methods for studying soil samples are IR spectroscopy and X-ray fluorescence spectrometry. Statistical processing of the obtained results and calculation of geochemical indicators (concentration coefficient, total soil pollution coefficient) were performed using the software packages Statistica, Origin, Excel.

Results. The morphogenetic features of the soils of the meadow-chnozem series of the foothills of Crimea have been determined, including formation under conditions of increased moisture, high humus content, effervescence throughout the profile from HCl, and gleization of the lower horizons. The chemical composition of the examined soil sections is dominated by Ca, Fe and Si, which is due to the natural processes of their formation – the properties of carbonate and quartz-containing rocks, the mobility of iron in periodically waterlogged reducing conditions. The calculated concentration coefficients reflect the tendency for the dispersion of the analyzed chemical elements (Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Ni, Fe, Zn, Rb, Sr, Zr) and the accumulation of such elements as As (Kk 5-26), Br (Kk 25-33), Cu (Kk 1-2), Co (Kk 1-2) in the upper soil horizons, which may be associated with the indirect influence of agriculture. The total pollution coefficient of the studied soils is within acceptable limits (the highest values for the section R1=9.0 and R3=11.3), which is characterized by a satisfactory ecological and geochemical state of the soils.

Research implications. The theoretical and/or practical significance lies in the possibility of using the obtained results for monitoring the state of the environment and modeling the behavior of individual elements in the nearby agroecosystem.

Keywords: heavy metals, geochemical spectrum, environmental monitoring

Acknowledgments: This research was conducted as part of the KSS-NR RAS project no. 124052000057-0, titled "Monitoring of Climate-Active Substances in Terrestrial Ecosystems of the Republic of Crimea under Climate Change and Anthropogenic Impact Using Remote Sensing Methods".

Введение

Начиная с XX в., различными отечественными учёными активно рассматриваются геохимические аспекты преобразования и установления закономерностей пространственного распределения и миграции химических элементов как в почвах, так и в системах «подстилающая порода – почвы», «подстилающая порода – почва – растения», «почвы – растения/животные/человек» и др. [2; 3]. К настоящему времени доступно множество работ, содержащих сведения эколого-геохимической направленности не только для почв России, но и зарубежья [12; 13]. Однако сведений об исследованиях почв Крымского полуострова на предмет их эколого-геохимического состояния крайне мало, и в большей степени они ориентированы на изучение экологического состояния, динамики и эволюции [5; 7].

Особое внимание в последние годы в литературе уделяется изучению современных тенденций изменения антропогенно-преобразованных почв – агроземов, мониторинг состояния и оценка качества которых является основным индикатором геохимической трансформации агроландшафтов в целом [15; 16].

Лугово-чернозёмные почвы являются полугидроморфными аналогами чернозёмов, развиваясь в местах с повышенным уровнем влаги. Главной отличительной чертой данных почв является близкое залегание грунто-

вых вод (2–7 м), что способствует развитию процессов оглеения в нижних почвенных горизонтах. Основной почвообразовательный процесс в почвенных профилях такого рода почв протекает под влиянием устоявшихся местных особенностей, что характеризуется одновременным сочетанием нескольких факторов почвообразования, например, климата, литологии материнских пород, рельефа, растительности, гидротермического режима или историей формирования ландшафтов территории [8]. В среднем, обладая несколько повышенным в отличие от чернозёмов количеством гумуса (для чернозёмов – 2,5–5,0%, а для лугово-чернозёмных почв – 2,4–8,3%), содержащегося в верхних плодородных слоях, дополнительная увлажнённость, нейтральная или близкая к ней реакция почвенного раствора предопределили их использование в сельском хозяйстве [4]. Согласно исследованию Н. А. Драган [6], лугово-чернозёмные почвы обладают максимально высоким потенциалом плодородия (по 100 бальной шкале) для возделывания основных агрокультур: плодовые культуры – 100 баллов, зерновые культуры – 76–86 баллов. При этом даже в условиях проявления негативных свойств (засоление, эрозия) для возделывания зерновых культур на таких почвах характерен потенциально высокий балл плодородия – 53–77 баллов.

Лугово-чернозёмные почвы имеют ограниченное распространение на

территории Крымского полуострова: локализованы вдоль русел рек Салгир (и притоков Бурульча, Биюк-Карасу), Булганак сухой, Мокрый Индол и Чурюк-Су. Занимая незначительные территории (3,4% от общей площади пашни в Крыму)¹, они вносят значительный вклад в развитие сельского хозяйства региона, благодаря более высокому содержанию гумуса и, как следствие, повышенному плодородию. Многолетнее интенсивное использование лугово-чернозёмных почв в условиях влияния возрастающей антропогенной нагрузки со стороны активно развивающегося растениеводства, неуклонно приводит к изменениям уровня плодородия и качества получаемой с них продукции. С экологической точки зрения, чаще всего такого рода процессы вызывают негативные последствия, в частности, снижение устойчивости почв к поступающим из окружающей среды загрязняющим веществам, развитие процессов деградации и эрозии, ухудшение природной функции самоочищения и самовосстановления [14]. Всё это привело к необходимости ведения мониторинга экологического состояния почв, для целей которого в настоящей работе выделены локальные эталоны [10] лугово-чернозёмных почв Крыма. Эталонные участки лугово-чернозёмных почв не испытывают значительного антропогенного воздействия и не вовлечены в сельскохозяйственный оборот.

Цель настоящей работы заключается в определении эколого-геохимических особенностей эталонных лугово-

чернозёмных почв Крыма для ведения экологического мониторинга.

Полевые работы и методы исследования

Полевые работы проведены в 2018 и 2022 гг. на 4 ключевых участках с лугово-чернозёмными почвами, расположенными в предгорной части Крымского полуострова (рис. 1).

Заложение почвенных разрезов, их описание и отбор проб почвенного материала и подстилающих пород производился в летний сезон с учётом существующих стандартов². При полевом определении типовой принадлежности почв использована классификация почв 1977 г., поскольку в её основе лежит эколого-генетический принцип, в отличие от новой классификации 2004 г., основанной на субстантивно-генетическом принципе, где лугово-чернозёмные почвы приравнены к отделу аккумулятивно гумусовых почв – чернозёмам. Для формирования основы мониторинга, предназначенной для последующего выявления различий между почвами мало трансформированных участков и антропогенно-преобразованных земледелием, выбраны наиболее представительные почвенные разрезы, демонстрирующие принадлежность к почвам лугово-чернозёмного ряда.

Почвенные профили размещались на мало трансформированных участках, целевое назначение которых – неугодья. Все профили заложены в Белогорском районе Республики Крым на субгоризонтальных поверхностях в районах с близкими климатическими

¹ Драган Н. А. Агроэкологическое состояние почвенных ресурсов Крыма // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны. Ч. 1: тез. конф. Белгород: ИД «Белгород», 2016. С. 68–69.

² ГОСТ ИСО 18400-101-2022 Качество почвы. Отбор проб. Основные принципы подготовки и применения плана отбора проб.

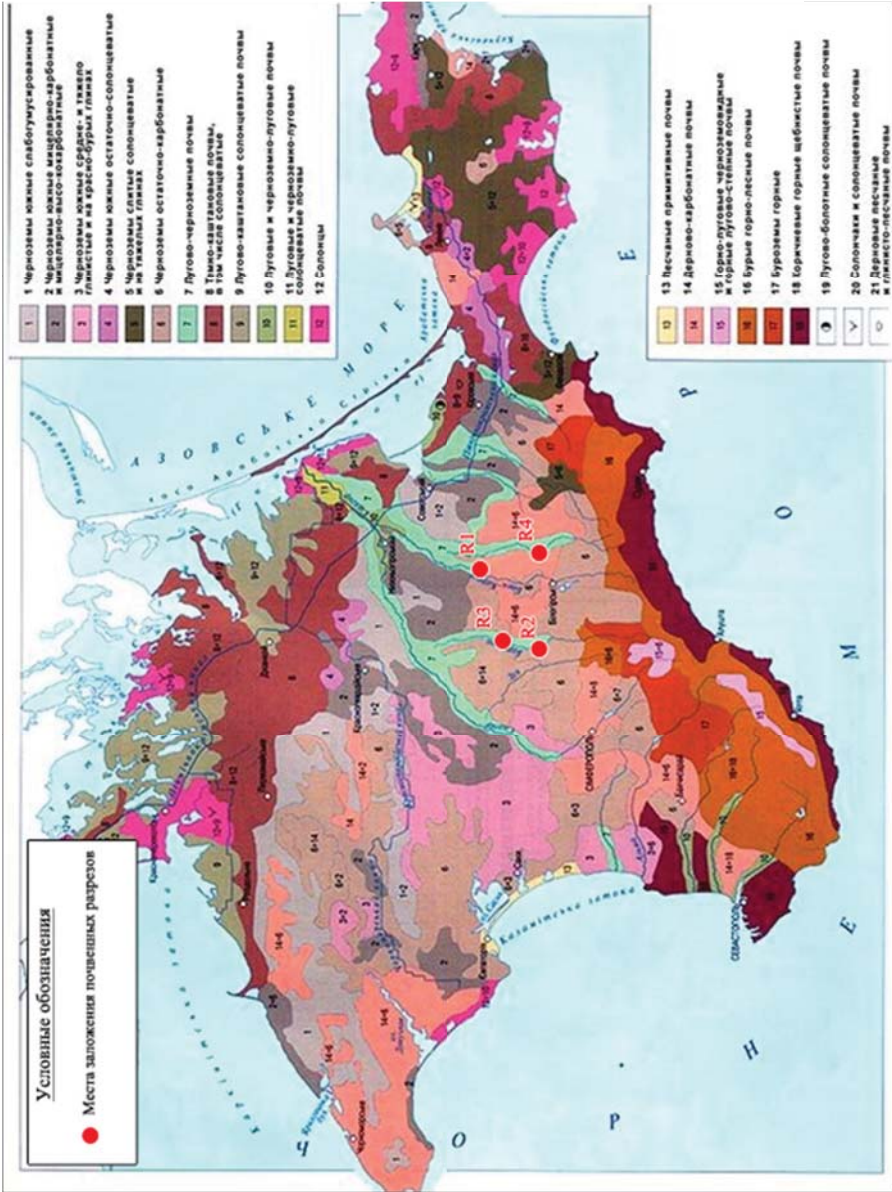


Рис. 1 / Fig. 1. Картограмма расположения типичных почвенных разрезов лугово-чернозёмных почв / Schematic map of the location of typical soil sections

Источник: составлено авторами на Почвенной карте Крыма [1]

характеристиками: среднегодовая температура воздуха изменяется в пределах $+9^{\circ}$ – $11,5^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков – от 325 до 500 мм. Почвы сформировались в условиях жаркого и относительно влажного лета: среднеиюльская температура $+21$ – 24°C , максимальная $+35$ – 39°C , в тёплый период выпадает от 160 до 300 мм осадков. Промерзание почвы в холодные зимы достигает 1,5–1,75 м, а в тёплые 0,2–0,4 м.

Почвенный разрез R1 выполнен в административных границах Зыбинского сельского поселения в долине р. Биюк-Карасу на надпойменной террасе. Расстояние до русла реки составляет около 100 м. К северу от почвенного разреза (около 60 м) проходит автодорога с. Зыбины – пгт. Советский.

Почвенные разрезы R2 и R3 заложены в долине р. Бурульча, в речной пойме. Разрез R2 расположен в границах Цветочненского сельского поселения возле пашни под зерновыми на расстоянии 300 м от автомобильной трассы «Таврида». На расстоянии 10 м протекает пересыхающая р. Бурульча. Летние температуры района несколько ниже средних по степному Крыму и в июле составляют около $+21^{\circ}\text{C}$, а осадков выпадает больше (500 мм).

Разрез R3 заложен в границах Мельничного сельского поселения на расстоянии 1,5 км от пашни. На расстоянии около 250 м проходит автомобильная трасса с. Ударное – «Таврида». Русло р. Бурульча расположено на расстоянии около 20 м. Отличие составляет материнская и подстилающая порода, на которой сформированы почвы – аллювиальные отложения, сложенные гравийно-галечниковым материалом с суглинистым заполнителем.

Почвенный разрез R4 выполнен в административных границах Мичуринского сельского поселения в долине р. Кучук-Карасу на надпойменной террасе. На расстоянии около 200 м расположена пашня, протекает р. Кучук-Карасу.

Смешанные пробы массой около 50 г отбирались в каждом выделенном почвенном горизонте. Пробы высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния.

Лабораторные исследования проведены на базе КФУ им. В.И. Вернадского с использованием общепринятых методик. В пробах почв определено содержание следующих химических элементов: Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Co, Ni, Fe, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Zr. Общий минералогический состав почв определяли с помощью ИК-спектроскопии. ИК-спектральный анализ полученных проб проводился при комнатной температуре с помощью ИК-Фурье спектрофотометра *Spectrum Two*, производства компании PerkinElmer, в диапазоне 4000 – 400 см^{-1} . Качественный и полуколичественный анализ элементного состава осуществляли при помощи рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Анализ проводили при комнатной температуре с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра производства компании *Rigaku* (Япония) в диапазоне определения химических элементов от Be до U. Результаты определения элементного состава представлены в виде графиков. Все используемые в настоящей статье материалы были предварительно сформированы в базу данных¹.

¹ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621382 Российская Федерация. Геохимические особенности и спектральные характеристики почв

Полученные результаты лабораторных исследований обрабатывались методами математической статистики в программных пакетах STATISTICA, Origin, Excel.

Оценка содержания химических элементов осуществлялась на основе сравнения со средним содержанием в земной коре – кларками [17]. Кларк концентрации (Кк) и кларк рассеяния (Кр) рассчитывали по формулам¹:

$$K_k = \frac{C_i}{K} \text{ и } K_p = \frac{K}{C_i},$$

где:

C_i – содержание i -го химического элемента в исследуемой геохимической системе (горной породе и/или почве);

K – кларк i -го элемента в земной коре.

При расчёте кларков концентрации и рассеяния использованы известные в литературе формулы, а значения для химических элементов нормировались по отношению к данным для континентальной коры [17]. Сравнение полученных данных с кларками представлено в виде геохимических спектров.

Комплексную оценку влияния химических элементов в почве на здоровье человека осуществляли на основе суммарного показателя загрязнения (Z_c), характеризующего эффект воздействия группы элементов:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где:

Z_c – суммарный показатель загрязнения;

K_c – коэффициенты концентрации (кларк концентрации) $> 1,0$;

n – число элементов с $K_c > 1$.

Результаты исследования

Общая морфогенетическая характеристика лугово-чернозёмных почв.

Все анализируемые почвы в ходе полевого определения отнесены к лугово-чернозёмным. Они сформированы под густой лугово-степной растительностью с преобладанием разнотравья и/или разреженных древесных лиственных пород. Главной особенностью формирования исследуемых почв является постоянное увлажнение почвенного профиля за счёт воздействия близко залегающих грунтовых вод, помимо выпадающих осадков. Влияние сноса ослаблено, т. к. почвы расположены на выположенных участках. Настоящие параметры оказывают непосредственное воздействие на формирование морфологического строения рассмотренных почвенных профилей, что выражается в оглеении нижних горизонтов, интенсификации гумусово-аккумулятивного процесса (рис. 2).

Почвы сформированы на аллювиальных отложениях, состоящих из гравийно-галечникового материала с суглинистым заполнителем (R3), элювии известняка и мергеля (R4), а также глинах (в т. ч. оглеенных) (R2) и суглинках (R1).

От 10% HCl все анализируемые почвы вскипают с поверхности. Реакция почвенного раствора слабо и среднещелочная (pH=7,5–8,0). По результатам полевого обследования ме-

Белогорского района Республики Крым: № 2022621205; заявл. 27.05.2022; опубл. 14.06.2022 / В. В. Дубас, И. В. Алексашкин, В. О. Калягина, А. А. Комар. EDN DLMDDG.

¹ МУ 2.1.7.730-99, 1999 Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы.

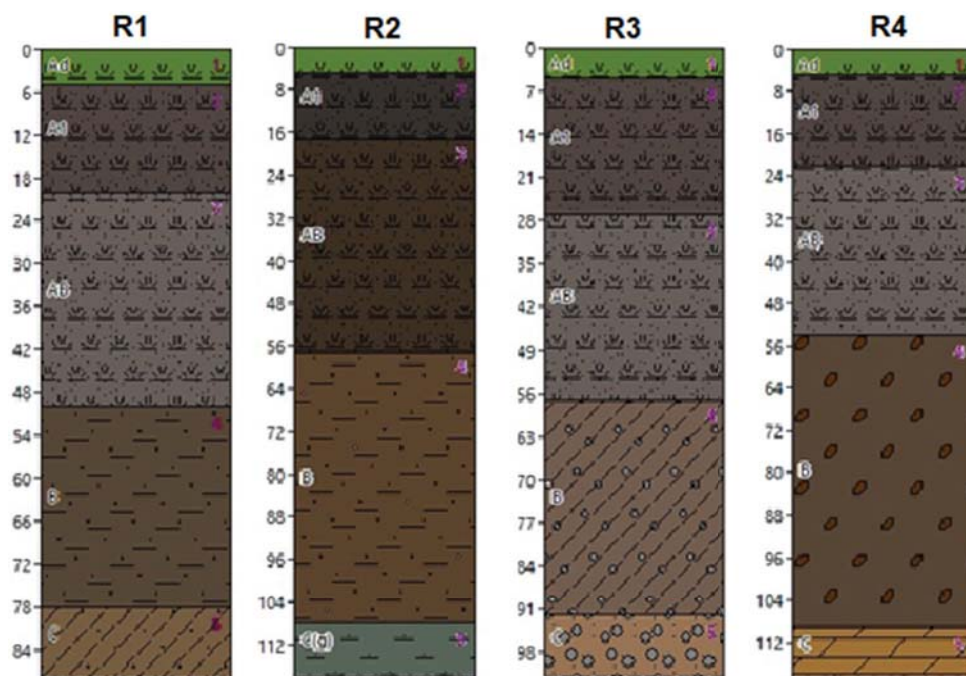


Рис. 2 / Fig. 2. Морфогенетические особенности почв лугово-чернозёмного ряда Крыма / Morphogenetic features of soils of the meadow-chnozem series

Источник: рисунок авторов

ханический состав варьирует от крупнопылевато-тяжёлосуглинистого до тяжёлоглинистого в нижних почвенных горизонтах. Для разреза R2 отмечено оглеение подстилающей породы – глины.

Для всех разрезов характерно развитие гумусово-аккумулятивного процесса: мощность Ad+A1 составляет от 17 до 27 см, а переходный горизонт AB достигает глубины 56 см. Оглеение в разрезе R2 обусловлено близким залеганием грунтовых вод.

Качественная ИК-спектральная характеристика и минералогический состав. По полученным ИК-спектрам можно судить о наличии в почвах минералов группы карбонатов кальция – кальцита, а также группы силикатов – кварца. Вторичные мине-

ралы определяются лишь в горизонте С и представлены смесью глинистых минералов, преимущественно группы гидрослюд, а также монтмориллонита и каолинита. Более подробно ИК-спектральная характеристика приведена в работе «Спектральные исследования лугово-чернозёмных почв Белогорского района Республики Крым» [11] для 3 из 4 рассматриваемых почвенных разрезов.

Полуколичественная характеристика элементного состава. По результатам проведённых анализов определено валовое содержание и распределение химических элементов в каждом почвенном горизонте (рис. 3–4).

Как видно, во всех горизонтах рассматриваемых почв максимальные

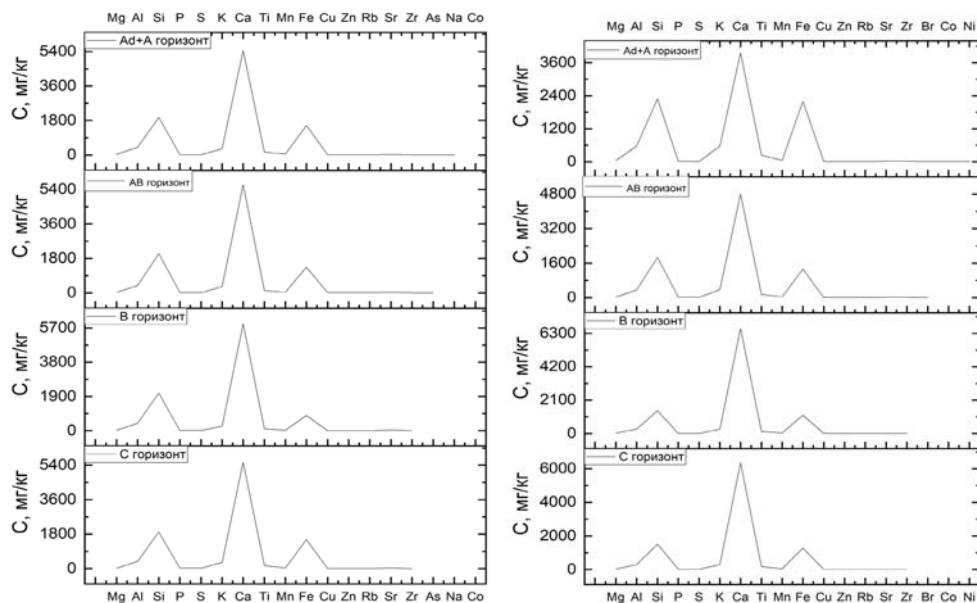


Рис. 3 / Fig. 3. Валовое содержание и распределение химических элементов в почвах лугово-чернозёмного ряда (разрез R1 слева и R2 справа) / Gross content and distribution of chemical elements in soils of the meadow-chnozem series (section R1 on the left and R2 on the right)

Источник: рисунок авторов

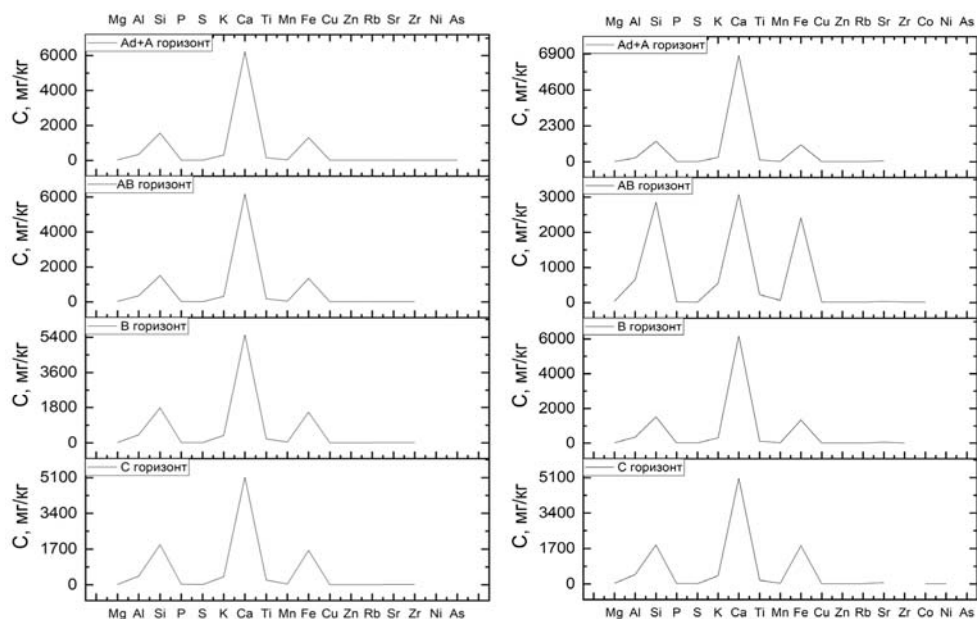


Рис. 4 / Fig. 4. Валовое содержание и распределение химических элементов в почвах лугово-чернозёмного ряда (разрез R3 слева и R4 справа) / Gross content and distribution of chemical elements in soils of the meadow-chnozem series (section R3 on the left and R4 on the right)

Источник: рисунок авторов

значения отмечаются для Са, что обусловлено закономерностями формирования лугово-чернозёмных почв на карбонатных породах, преобладающих на Крымском полуострове. Высокое содержание Са также определяет повышенные показатели рН и вскипание во всех горизонтах. Для лугово-чернозёмных почв характерно накопление Са в иллювиальных (иллювиально-карбонатных – B_{Ca}) горизонтах: содержание Са в иллювиальных горизонтах всех рассмотренных участков выше, чем в горной породе. При этом максимальная концентрация Са достигала 6799,2 мг/кг в гумусовом горизонте разреза R4.

Второй по массе химический элемент в лугово-чернозёмных почвах Крыма – Si, содержание которого в отдельных почвенных горизонтах достигает 2858,4 мг/кг. Максимум зафиксирован в иллювиальном горизонте разреза R4.

Высокое содержание Si фиксируется по всему почвенному профилю разреза R1. В других разрезах содержание Si изменяется от 1305,3 мг/кг до 2091,1 мг/кг. Во всех горизонтах содержание кварца выше, чем в почвообразующей горной породе, что свидетельствует о его накоплении в почве.

Содержание Fe формирует третий пик на графиках с максимумом в переходном горизонте АВ разреза R4 – 2414 мг/кг. Накопление Fe в верхних гумусовых горизонтах может быть объяснено его связыванием в органоминеральных комплексах гуминовых кислот. В иллювиальных горизонтах разрезов R1 и R4 при полевом описании отмечены ржаво-охристые пятна.

Накопление Fe – также одна из характерных черт чернозёмов, что об-

условлено устойчивостью элемента в окислительных слабощелочных и нейтральных условиях, присутствием карбоната кальция. С другой стороны, периодическое переувлажнение почв способствует формированию восстановительных условий и увеличению доли подвижных форм Fe, способных мигрировать по профилю [9].

Согласно приведённым геохимическим спектрам (рис. 5) для большинства рассматриваемых химических элементов характерно рассеивание – их концентрация меньше кларков в земной коре. Кларки рассеивания показывают обеднённость осадочных пород химическими элементами по сравнению с их содержанием в земной коре.

В разрезах R1, R3 и R4 фиксируется накопление As в гумусовом (A1) и переходном (AB) горизонтах. Коэффициент концентрации для As составляет от 5 до 26. Основной путь поступления As на сельскохозяйственные угодья – применение мышьякосодержащих пестицидов и их снос к рекам.

Накопление Cu с коэффициентом концентрации 1–2,2 отмечено по всему профилю разрезов R2, R3 и R4. В качестве антропогенного источника Cu выступает медный купорос, широко используемый в Крыму для обработки садов и виноградников.

В разрезе R2 также в верхних горизонтах отмечается накопление Br и Co с коэффициентом концентрации 25–33 и 1,6–1,8 соответственно. Поступление в лугово-чернозёмные почвы некоторого количества Br и Co возможно за счёт близкого, а в некоторых случаях пограничного положения с сельхозугодьями и автомобильными дорогами общего пользования.

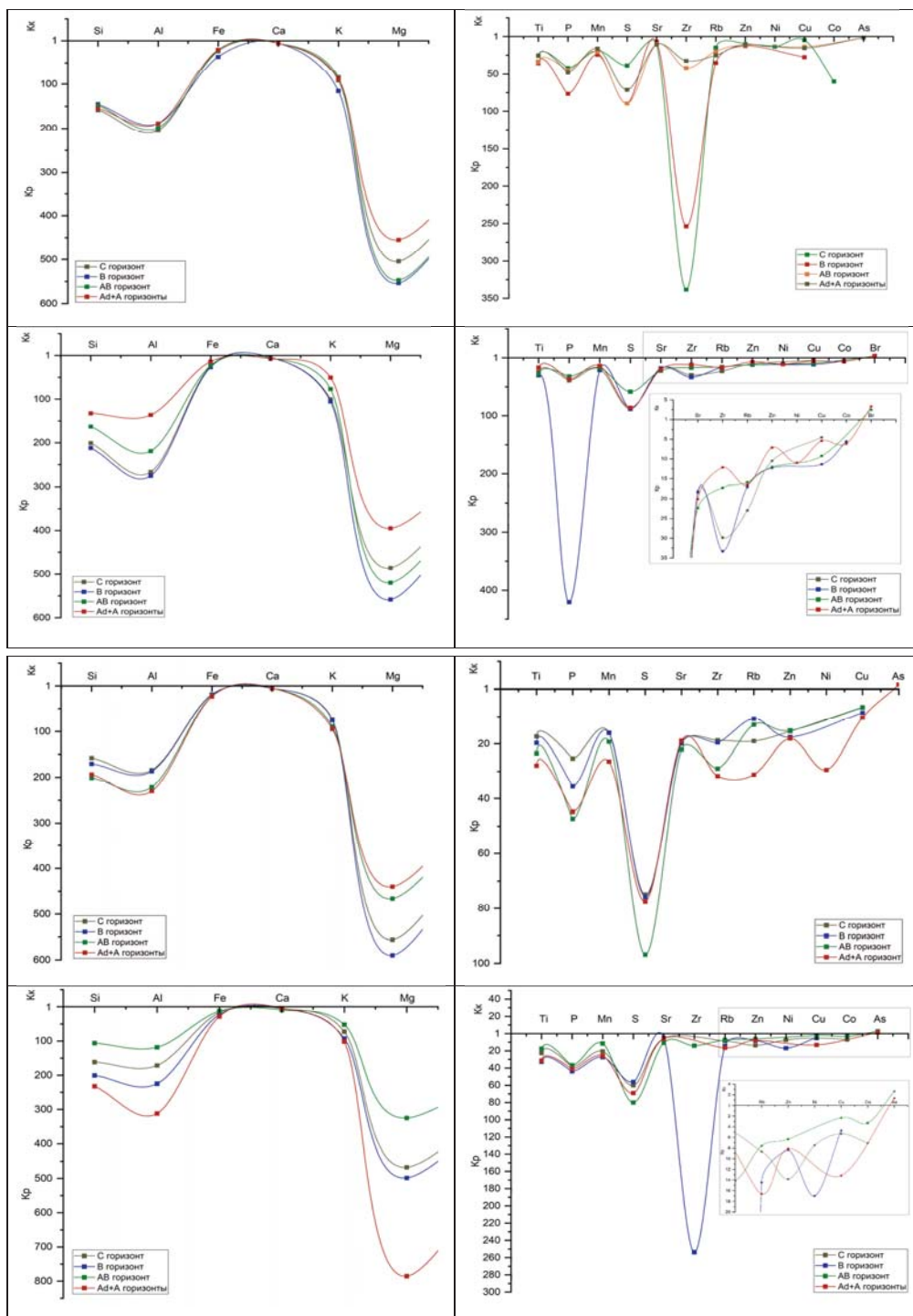


Рис. 5 / Fig. 5. Геохимические спектры лугово-чернозёмных почв для разрезов R1–R4 / Geochemical spectra of meadow-chernozemic soils for sections R1–R4

Источник: рисунки авторов

В целом, содержание тяжёлых металлов в почвах находится в большинстве проб в пределах кларковых значений, что свидетельствует об их нахождении в рассеянном виде и незначительном вкладе антропогенной деятельности.

Применение суммарного показателя загрязнения (Z_c) в комплексе с проведёнными расчетами коэффициентов концентрации и рассеяния позволило установить степень комплексной геохимической трансформации почв лугово-чернозёмного ряда Крыма. Определено, что наибольшая степень загрязнения почвенного покрова разрезов R1 и R2 со значениями $Z_c=9,0$ и $Z_c=11,3$ соответственно. Полученные значения не превышают нормативного показателя 16 и характеризуется допустимым уровнем загрязнения¹. Такой уровень загрязнения находится в пределах допустимых значений и характеризует удовлетворительное состояние почв.

Заключение

В ходе проведённых исследований установлены основные морфогенетические особенности почв лугово-чернозёмного ряда, распространённых в долинах рек Бурульча, Биюк-Карасу и Кучук-Карасу в границах Предгорного Крыма. К их специфике относятся:

формирование в условиях повышенного увлажнения высокого содержания гумуса, вскипание по всему профилю от HCl, оглеение нижних горизонтов.

В химическом составе рассмотренных почвенных разрезов преобладают Ca, Fe и Si, что обусловлено естественными процессами их формирования – свойствами карбонатных и кварце-содержащих горных пород, подвижностью железа в периодически переувлажнённых восстановительных условиях.

Рассчитанные коэффициенты концентрации отражают тенденцию к рассеиванию анализируемых химических элементов (Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Ni, Fe, Zn, Rb, Sr, Zr) и накоплению таких элементов, как As (Кк 5-26), Br (Кк 25-33), Cu (Кк 1-2), Co (Кк 1-2) в верхних почвенных горизонтах, что может быть связано с опосредованным влиянием сельского хозяйства.

Низкие значения суммарного показателя загрязнения ($Z_c<16$) указывают на минимальный уровень антропогенного воздействия в пределах допустимых уровней концентраций.

Заложенные почвенные разрезы могут быть использованы в качестве природного фона для оценки уровня загрязнения антропогенно преобразованных участков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас. Автономная Республика Крым / под ред. М. В. Багрова и др. Киев-Симферополь, 2003. 32 с.
2. Виноградов А. П. Полное собрание трудов в 18 т. Том 4: Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М., 2021. 298 с.
3. Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами // Почвоведение. 1999. № 5. С. 639–645.
4. Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма. Симферополь: ДОЛЯ, 2004. 209 с.

¹ МУ2.1.7.730-99 Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы.

5. Драган Н. А. Эволюция почвенного покрова Крыма как результат экогеодинамических процессов // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2005. Вып. 1. С. 59–71.
6. Драган Н. А. Агроэкологическое состояние земельных ресурсов Крыма // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2008. Т. 130. С. 55–61.
7. Ергина Е. И., Тронза Г. Е. Современное почвенно-экологическое состояние Крымского полуострова // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2016. Т. 2. № 3. С. 196.
8. Изучение и идентификация почвенных эталонов и редких почв с целью мониторинга и охраны почвенных ресурсов в Равнинном Крыму / Е. И. Ергина, Р. В. Горбунов, Г. Е. Тронза, Я. О. Лебедев, Ю. С. Хижняк. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. 136 с.
9. Николаева С. А., Еремина А. М. Трансформация соединений железа в чернозёмах в условиях повышенной увлажнённости почв // Почвоведение. 2001. № 8. С. 963–969.
10. Савин И. Ю., Псарёва А. П. О выделении особо ценных сельскохозяйственных земель // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2020. № 102. С. 143–163. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-143-163
11. Спектральные исследования лугово-чернозёмных почв Белогорского района Республики Крым / В. В. Дубас, И. В. Алексашкин, А. А. Мосунов, К. В. Якимова // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2020. Т. 5. № 2. С. 359–368.
12. Borisochkina T., Kogut B., Khamatnurov Sh. Ecological and geochemical state of soils and grounds of Moscow green spaces (analytical review) // Dokuchaev Soil Bulletin. 2021. P. 129–164. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-129-164
13. Geochemical characteristics of soil selenium and evaluation of selenium-rich land resources in Guiyang area / Ziping Pan, Yanfei Feng, Minzi Wang, Wei Meng, Ju Chen // Frontiers in Geochemistry. 2023. Vol. 1. DOI: 10.3389/fgeoc.2023.1094023
14. Güldner D., Larsen L., Cunfer G. Soil Fertility Transitions in the Context of Industrialization, 1750–2000 // Social Science History. 2021. Vol. 45. № 4. P. 785–811. DOI: 10.1017/ssh.2021.26
15. Sustainable transformation of agriculture requires landscape experiments / A. Pereponova, K. Grahmann, G. Lischeid, S. D. Bellingrath-Kimura, F. A. Ewert // Heliyon. 2023. Vol. 9. № 11. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e21215
16. Veenstra J., Burras L. Soil Profile Transformation after 50 Years of Agricultural Land Use // Soil Science Society of America Journal. 2015. Vol. 79. P. 1154–1162. DOI: 10.2136/sssaj2015.01.0027
17. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. Vol. 59. № 7. P. 1217–1232.

REFERENCES

1. Bagrov M. V. et al., eds. *Atlas. Avtonomnaya Respublika Krym* [Atlas. Autonomous Republic of Crimea]. Kyiv-Simferopol, 2003. 32 p.
2. Vinogradov A. P. *Polnoye sobraniye trudov v 18 t. Tom 4: Geokhimiya sluchaynykh i rasseyannykh elementov v pochvakh* [Complete Works in 18 Volumes. Volume 4: Geochemistry of Rare and Trace Elements in Soils]. Moscow, 2021. 298 p.
3. Dobrovolsky V. V. [Landscape-geochemical criteria for assessing soil pollution with heavy metals]. In: *Pochvovedeniye* [Soil Science], 1999, no. 5, pp. 639–645.
4. Dragan N. A. *Pochvennyye resursy Kryma* [Soil Resources of Crimea]. Simferopol, DOLYA Publ., 2004. 209 p.
5. Dragan N. A. [Evolution of the soil cover of Crimea as a result of ecogeodynamic processes]. In: *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and ecogeodynamics of regions], 2005, iss. 1, pp. 59–71.

6. Dragan N. A. [Agroecological state of land resources of Crimea]. In: *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Collection of scientific papers of the State Nikitsky Botanical Garden], 2008, vol. 130, pp. 55–61.
7. Ergina E. I., Tronza G. E. [Modern soil-ecological state of the Crimean peninsula]. In: *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya* [Scientific Notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology], 2016, vol. 2, no. 3, p. 196.
8. Ergina E. I., Gorbunov R. V., Tronza G. E., Lebedev Ya. O., Khizhnyak Yu. S. *Izucheniye i identifikatsiya pochvennykh etalonov i redkikh pochv s Tsel'yu Diptikhov i okhrany pochvennykh resursov v Ravninnom Krymu* [Study and identification of soil standards and rare soils for the purpose of monitoring and protecting soil resources in the Plain Crimea]. Simferopol, IT "ARIAL", 2017. 136 p.
9. Nikolaeva S. A., Eremina A. M. [Transformation of iron compounds in chernozems under conditions of increased soil moisture]. In: *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2001, no. 8, pp. 963–969.
10. Savin I. Yu., Psareva A. P. [On the allocation of especially valuable agricultural lands]. In: *Byulleten Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchayeva* [Bulletin of the Soil Science Institute named after V. V. Dokuchaev], 2020, no. 102, pp. 143–163. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-143-163
11. Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Mosunov A. A., Yakimova K. V. [Spectral studies of meadow-chernozem soils of the Belogorsk district of the Republic of Crimea]. In: *Aktualnyye voprosy biologicheskoy fiziki i khimii* [Actual issues of biological physics and chemistry], 2020, vol. 5, no. 2, pp. 359–368.
12. Borisochkina T., Kogut B., Khamaturov Sh. Ecological and geochemical state of soils and grounds of Moscow green spaces (analytical review). In: *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, pp. 129–164. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-129-164
13. Ziping Pan, Yanfei Feng, Minzi Wang, Wei Meng, Ju Chen. Geochemical characteristics of soil selenium and evaluation of selenium-rich land resources in Guiyang area. In: *Frontiers in Geochemistry*, 2023, vol. 1. DOI: 10.3389/fgeoc.2023.1094023
14. Güldner D., Larsen L., Cunfer G. Soil Fertility Transitions in the Context of Industrialization, 1750–2000. In: *Social Science History*, 2021, vol. 45, no. 4, pp. 785–811. DOI: 10.1017/ssh.2021.26
15. Pereponova A., Grahmann K., Lischeid G., Bellingrath-Kimura S. D., Ewert F. A. Sustainable transformation of agriculture requires landscape experiments. In: *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 11. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e21215
16. Veenstra J., Burras L. Soil Profile Transformation after 50 Years of Agricultural Land Use. In: *Soil Science Society of America Journal*, 2015, vol. 79, pp. 1154–1162. DOI: 10.2136/sssaj2015.01.0027
17. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, vol. 59, no. 7, pp. 1217–1232.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дубас Виктория Викторовна – аспирант Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук; младший научный сотрудник лаборатории климатически активных веществ Карадагской научной станции имени Т. И. Вяземского – природного заповедника Российской академии наук (филиала Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук);
e-mail: victoriadubas.VD@gmail.com

Алексаишин Игорь Владимирович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга Карадагской научной станции имени Т. И. Вяземского – природного заповедника Российской академии наук (филиала Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук); доцент кафедры геоэкологии факультета географии, геоэкологии и туризма Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского;
e-mail: aligor@rambler.ru

Горбунова Татьяна Юрьевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук;
e-mail: gorbunovatyu@ibss-ras.ru

Горбунов Роман Вячеславович – доктор географических наук, директор Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского Российской академии наук;
e-mail: gorbunov@ibss-ras.ru

Керимов Ибрагим Ахмедович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела истории наук о Земле Института истории естествознания и техники имени С. И. Вавилова Российской академии наук;
e-mail: ibragim_kerimov@mail.ru

Каширина Екатерина Сергеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского Российской академии наук;
e-mail: eskashirina@ibss.su

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victoria V. Dubas – Postgraduate student, The A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Junior Researcher, Laboratory of Monitoring Climate Active Substances, T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS;
e-mail: victoriadubas.VD@gmail.com

Igor V. Aleksashkin – PhD (Chemistry), Senior Researcher, Department of Biodiversity Study and Environmental Monitoring, T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS (Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS); Assoc. Prof., Department of Geoecology, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, V. I. Vernadsky Crimean Federal University;
e-mail: aligor@rambler.ru

Tatiana Yu. Gorbunova – PhD (Geography), Senior Researcher, Laboratory of Landscape Ecology and Geomatics, The A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas;
e-mail: gorbunov@ibss-ras.ru

Roman V. Gorbunov – Dr. Sci. (Geography), Director, The A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas;
e-mail: gorbunovatyu@ibss-ras.ru

Ibrahim A. Kerimov – Dr. Sci. (Physic and Mathematic), Prof., Chief Researcher, Department of Earth Science History, S. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS;
e-mail: ibragim_kerimov@mail.ru

Ekaterina S. Kashirina – PhD (Geography), Senior Researcher, Laboratory of Landscape Ecology and Geomatics, The A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas;
e-mail: eskashirina@ibss.su

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Эколого-геохимические особенности лугово-чернозёмных почв Крымского полуострова / В. В. Дубас, И. В. Алексашкин, Т. Ю. Горбунова, Р. В. Горбунов, И. А. Керимов, Е. С. Каширина // Географическая среда и живые системы. 2024. № 4. С. 67–83.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-4-67-83

FOR CITATION

Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Gorbunova T. Yu., Gorbunov R. V., Kerimov I. A., Kashirina E. S. Ecological and geochemical features of meadow-chernozem soils of Crimean peninsula. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 4, pp. 67–83.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-4-67-83