

### Генезис и география почв

В.Н. Пинской, И.А. Идрисов, Н.Н. Каширская, М.В. Ельцов, А.В. Борисов Почвы земледельческих террас на глинистых сланцах в среднегорье Восточного Кавказа // Почвоведение. 2023. № 6. С. 991-702. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601335>

Рассмотрены химические свойства и биологическая активность почв земледельческих террас на глинистых сланцах в среднегорной зоне Восточного Кавказа. Установлено, что площадь террасированных участков в южной зоне сланцевого Дагестана составляет около 264 км<sup>2</sup> территории. Эти почвы в настоящее время находятся в залежном состоянии, но представляют собой значительный резерв высокоплодородных устойчивых к эрозии почв. Изучено влияние экспозиции склона, крутизны, размеров террасы, длительности периода распашки на химические свойства и биологическую активность почв. Показано, что для фоновых почв за пределами зоны террасирования определяющее влияние оказывает экспозиция склона. Для террасированных участков влияние экспозиции менее выражено. Формирование стенки террасы привело к изменению теплового режима, в результате различия химических и микробиологических свойств почв на склонах северной и южной экспозиции стали менее выраженными. Нивелирующий эффект террасирования наиболее заметен на относительно менее крутых склонах (12°–18°), где ширина террасного полотна наибольшая. На крутых склонах (>20°) с узкими террасами влияние экспозиции склона на почвенные свойства сохраняется. В то же время такие факторы, как длительность функционирования почв и особенности землепользования, оказывают не менее значительное влияние на свойства почв. Установлены закономерности изменения почвенных свойств в пределах тела любой отдельно взятой террасы. Наиболее плодородной зоной в пределах одной террасы является прибровочная часть, где мощность профиля наибольшая. По мере приближения к тыловому шву террасы наблюдается закономерное уменьшение величин биологических и химических показателей.

**Ключевые слова:** земледелие, горная зона Дагестана, экспозиция склона, химические и биологические свойства почв

### Химия почв

З. С. Артемьева, Н. Н. Данченко, Ю. Г. Колягин, Е.Б. Варламов, Е.С. Засухина, Е.В. Цомаева, Б. М. Когут Химическая структура органического вещества агрочерноземов разных позиций на склоне // Почвоведение. 2023. № 6. С. 703-714. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601517>

Методом твердотельной <sup>13</sup>C-ЯМР-спектроскопии изучена химическая структура пулов органического вещества (ОВ) пахотных горизонтов полнопрофильного, эродированного и намытого агрочерноземов. Выявлено, что в эрозионной зоне имеют место два конкурирующих процесса, протекающих одновременно: разложение ОВ обнажившегося в результате эрозии ранее нижележащего горизонта и стабилизация вновь поступившего с растительными остатками культурных растений свежего ОВ (динамическое замещение ОВ). Аналитические данные позволяют утверждать, что

процессы динамического замещения ОВ в эрозионной зоне эффективно компенсируют процессы разложения ОВ, о чем свидетельствуют максимально высокие величины отношения C/N всех исследованных пулов ОВ эродированного агрочернозема, наряду с отсутствием значимых различий в интегральных показателях их химической структуры. Постоянный вынос верхнего слоя почвы из эродированного агрочернозема с каждым эрозионным событием не позволяет полностью компенсировать потерю количества ОВ в нем. Во время транспортировки эродированного материала в аккумулятивную зону наиболее лабильная часть ОВ может быть минерализована. Соответственно, вновь поступающее в аккумулятивную зону ОВ более трансформировано по сравнению с таковым эродированного агрочернозема. Намытый агрочернозем характеризуется повышенным уровнем накопления органического углерода в почве в целом и во всех исследованных пулах ОВ. Следовательно, постоянное поступление ОВ с эродированной позиции склона с последующим его захоронением после каждого следующего эрозионного события, а также переупаковка/агрегирование вновь отложенного ОВ эффективно способствуют депонированию органического углерода в аккумулятивной зоне.

Ключевые слова: эрозия, стабилизация углерода, гранулоденсимметрическое фракционирование

S. S. Kavaklıgil and S. Erşahinb "Spatial Variability of Some Soil Physical Properties on Semi-Arid Cultivated Hillslopes in Hydropedological Perspective," *Eurasian Soil Science*,  
<https://doi.org/10.1134/S1064229323700151>

Hydropedology bridges hydrology to pedology, and hillslope hydropedology is central in understanding soil-topography-hydropedology interrelations. Many of soil physical properties have a deterministic control on hydropedological processes. This study aimed to evaluate spatial coupling between hydropedology and some soil physical variables on a sloping landscape, which has been under rainfed wheat cultivation for over 70 years. Twenty-nine soil profiles were open and described on topslope, shoulder, backslope, footslope, and toeslope positions on hillslopes oriented in different directions. In total, 486 soil samples were taken from A, B, and C horizons at 174 sampling points and analyzed for soil properties of wilting point, organic matter content, electrical conductivity, pH, and CaCO<sub>3</sub> content. Saturated hydraulic conductivity (K<sub>s</sub>) and infiltration rate were measured in the field during the sampling. Spatial variability of soil physical properties was analyzed by semivariograms. Soil horizonation was the most important factor controlling spatial structure of soil attributes in the study area. Majority of the semivariograms were horizon-specific in shape, geostatistical range, and spatial continuity. Many of the soil properties were strongly spatially dependent in the B horizon with a far greater geostatistical range compared to those in the A and the C horizon, suggesting that processes controlling the coupling hydropedology with soil physics were more strongly spatially dependent and continues in the B horizon than either in the A or the C horizon. The results indicated complex soil physicshydropedology spatial coupling, which vigorously mediated by soil horizonation in the study area. More research is needed to disentangle the multitude spatial interplay of hydropedology drivers of soil, hydrology, and topography across different soil and topographic settings.

Keywords: geostatistics, pedology, slope aspect, slope position, soil horizonation, soil hydraulics

Xiaolin Jia, Modian Xie, Bifeng Hu, Yin Zhou, Hongyi Li, Wanru Zhao, Wanming Deng, and Zhou Shi

"Prediction of Soil Organic Carbon Contents in Tibet Using a Visible Near-Infrared Spectral Library," Eurasian Soil Science, <https://doi.org/10.1134/S1064229322601214>

Accurate soil organic carbon (SOC) data are very important for management of agricultural production and climate change mitigation. Visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy is an inexpensive, non-destructive, efficient, and reliable technique for monitoring soil properties. Soil spectral libraries can contain large sets of diverse soil data for empirical calibration. In this study, we focused on improving the prediction accuracy of the SOC content at the local field scale in Tibet using field-wet, intact spectra and different spectral libraries. The direct standardization algorithm and piecewise direct standardization algorithm were used to remove the influence of environmental factors from the in-situ vis-NIR spectra. These algorithms effectively removed the influence of environment factors from the field-wet, intact spectra. The ratio of performance to deviation values for prediction of the SOC content using the field and laboratory spectra with the local spectral library were 1.57 and 1.98, respectively. The local spectral library models outperformed spiked national spectral library models and had higher ratio of performance to deviation values for shrub meadows, forests, and the total dataset. Keywords: brown soil, soil organic carbon, direct standardization, piecewise direct standardization, visible near-infrared spectral library

F. Gökmen, V. Uygur, and E. Sukuşu "Extreme Gradient Boosting Regression Model for Soil Available Boron," Eurasian Soil Science, <https://doi.org/10.1134/S1064229322602128>

Soil formation processes and agricultural practices determine the amount of plant-available boron (B) concentration in soils. In this study, the relationships between soil characteristics and plant-available B concentrations of 54 soil samples collected from Gelendost and Eğirdir districts of Isparta province were investigated using the Spearman correlation and eXtreme gradient boosting regression (XGBoost) model. Plant-available B concentration was significantly correlated with the soils' phosphorus, potassium, copper, and electrical conductivity. The XGBoost model explained 63% of the variation in five components defining soil behavior, and one of these components showed the variance resulting from the plant-available B. The effects of explanatory variables on B concentration determined in the XGBoost model were the parameters that were also significant in the correlation analysis. The results indicated that the model could successfully estimate B availability from the routinely analyzed soil properties. Keywords: mannitol extractable boron, chemometric relations, modeling, calcareous parent material, R statistics

### **Физика почв**

X. M. Guo, N. Guo, and L. Liu "Effects of Wetting-Drying Cycles on the CT-Measured Macropore Characteristics under Farmland in Northern China," Eurasian Soil Science, <https://doi.org/10.1134/S1064229323700163>

Wetting and drying (WD) cycles have a strong influence on the structure of soil, especially on the pore distribution, which can significantly affect soil quality and crop growth. Most studies have conducted the controlled cycles effects on soil pores at the laboratory. However, the effects of natural wetting and drying cycles (NWD) on the pore characteristics of soil are still not well understood. This study was to quantify and compare the modifications in computed tomography (CT)-measured macropore parameters induced by cycles under two experimental conditions of NWD at the field and WD at the laboratory. Intact soil cores, 15 cm in diameter and about 20 cm in height, were taken from Calcic Cambisol at cultivated land and scanned using X-ray computed tomography. Two conditions of NWD and WD cycles had obviously different influence on soil macropores, and NWD cycles may have a stronger influence than WD cycles. Soil depths had an obvious effect on soil macropore

features during the cycles. Our results suggest that the decrease in soil macropore number, macroporosity, fractal dimension and connectivity density under NWD cycles is adverse to soil water retention, soil quality and crop production.

Keywords: soil pore, wetting and drying cycles, Calcic Cambisols, Northern China Plain

## Биология почв

М.В. Семенов, Н.А. Ксенофонтова, Д.А. Никитин, А.К. Тхакахова, С.М. Лукин Микробиологические показатели дерново-подзолистой почвы и ризосферы в полувековом полевом опыте с применением разных систем удобрения // Почвоведение. 2023. № 6. С. 715-729.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X22601220>

Исучено влияние разных систем удобрения на количественные показатели различных групп микроорганизмов внекорневой агродерново-подзолистой почвы (Umbric Albic Retisol (Aric)) и ризосферы картофеля и ячменя. Исследование проводили на базе длительного полевого опыта, в котором с 1968 г. применяются минеральная (NPK), органическая (навоз) и органо-минеральная (NPK + навоз) системы удобрения. Внесение органических удобрений на 25–100% повышало содержание углерода микробной биомассы (Смик) в почве и ризосфере по сравнению с почвой без удобрений, а применение минеральных удобрений, наоборот, снижало на 10–30%. Базальное дыхание и дыхательный коэффициент ( $qCO_2$ ) увеличивались в ряду: без удобрений < NPK < NPK + навоз < навоз. Численность копий генов бактерий, архей и грибов существенно, в 1.5–2.5 раза, повышалась в условиях применения органических удобрений и снижалась в 2–2.5 раза под воздействием NPK. Соотношение грибы/бактерии по методу люминесцентной микроскопии изменялось от 32 до 100, а по результатам количественной ПЦР – от 0.10 до 0.92, при этом наименьшие значения были характерны для вариантов с внесением NPK, а наибольшие – с навозом. Таким образом, в целях поддержания стабильности системы почва–микроорганизмы–растение применяемые дозы минеральных удобрений должны компенсироваться внесением свежего органического вещества.

Ключевые слова: углерод микробной биомассы, базальное дыхание, соотношение грибы/бактерии, количественная ПЦР, минеральные удобрения, органические удобрения, микробиом

А. В. Князева, Л. В. Лысак, Е.В. Лапыгина, А.В. Александрова Обилие и разнообразие микроорганизмов в почвах и сопряженных субстратах (опаде и “подвешенной почве”) некоторых заповедников Вьетнама // Почвоведение. 2023. № 6. С. 730-744. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601323>

Проведено комплексное исследование почвенного прокариотного сообщества зональных ферралитных и интразональных аллювиальных почв Вьетнама, а также сопряженных с ними растительного опада и “подвешенной почвы” из корзинок эпифитных папоротников. Наибольшая численность бактерий, определенная прямым люминесцентным методом, отмечена в образцах ферралитных почв (5.59 млрд кл./г), тогда как длина грибного (2038 м/г) и актиномицетного мицелия (1086 м/г) была наибольшей в аллювиальных почвах. В среднем, наибольшие показатели общей

численности и длины актиномицетного и грибного мицелия зарегистрированы в горных ферралитных почвах. Актинобактерии, в частности бактерии рода *Streptomyces*, вносят значительный вклад в деструкцию растительного материала. В прокариотном сообществе зональной красно-желтой гумусно-ферралитной почвы преобладали бактерии филумов Firmicutes (80%) и Proteobacteria (15%), в образце “подвешенной почвы” – филумы Proteobacteria (51%), Actinobacteria (38%). Значительно меньше представлены филумы Chloroflexi, Acidobacteria, Bacteroidetes и Cyanobacteria. При значительных различиях на уровне родов в исследованных субстратах выделены следующие функциональные группировки микроорганизмов: деструкторы ксенобиотиков, бактерии цикла азота, экстремофилы, а также бактерии-ингибиторы роста микромицетов. Метаболически активная часть прокариотного сообщества, представленная филумами Proteobacteria, Actinobacteria и Acidobacteria, была наибольшей в “подвешенной почве”, меньшей – в опаде и горизонте А красно-желтой гумусно-ферралитной почвы, что соотносилось с высокой численностью этих филумов и значительным таксономическим разнообразием бактерий в этом локусе. Функциональные гены: *nifH* – ген, кодирующий субъединицу нитрогеназы, и *alcB*, кодирующий алкан гидроксилазу – детектированы во всех исследованных субстратах. Численность копий функциональных генов была наибольшей в образце “подвешенной почвы”, что делает этот локус перспективным для выделения штаммов с высоким биотехнологическим потенциалом.

Ключевые слова: численность бактерий, ДНК-метабаркодинг, численность копий *nifH* и *alcB* генов, Ferralsol

А. В. Якушев, А. И. Журавлев, И. Н. Кузнецова Влияние длительной и кратковременных засух на гидролитические ферменты серой почвы // Почвоведение. 2023. № 6. С. 745-757.  
<https://doi.org/10.31857/S0032180X2260130X>

Трансформация органического вещества в почве во многом определяется гидролитическими ферментами. В условиях климатических изменений особое значение имеет понимание механизмов микробного отклика для прогнозирования цикла углерода. До сих пор мало изучалось влияние продолжительности и частоты засухи на гидролитические ферменты почвы. Проведен многофакторный полевой манипуляционный эксперимент, моделирующий в присутствии растений и без них: две кратковременные засухи, длительную засуху и оптимальный уровень увлажнения почвы. Определяли максимальную скорость реакции  $V_{max}$ , константу Михаэлиса  $K_m$  и каталитическую эффективность  $K_a$  пяти групп ферментов, участвующих в цикле углерода (целлюлазы, глюкозидазы, ксиланазы), фосфора (фосфатазы) и азота (хитиназы). У фосфатаз, глюкозидаз и ксиланаз  $V_{max}$  снижалось при кратковременной засухе. В ходе длительной засухи снижалось значение  $V_{max}$  фосфатаз, целлюбогидролаз, ксиланаз и возрастало у хитиназ, оставаясь при этом неизменным у глюкозидаз. Как длительная, так и кратковременные засухи приводили к увеличению  $K_m$  и уменьшению  $K_a$  почти для всех ферментов. Кратковременные засухи не являлись ослабленным вариантом длительной засухи, но имели свою специфику –

снижение у глюкозидаз  $K_m$ , которое приводило к увеличению  $K_a$ . Длительная засуха отличалась увеличением  $V_{max}$  хитиназ и пространственной вариативности  $V_{max}$  фосфатаз и глюкозидаз. Влияние присутствия растений было второстепенным и сказывалось только при коротких засухах. Обратимость действия засухи на  $V_{max}$ ,  $K_m$ ,  $K_a$  уменьшалась в ряду: первая кратковременная засуха > вторая кратковременная засуха > длительная засуха – за счет увеличения общей продолжительности стрессового воздействия.

**Ключевые слова:** почвенная засуха, почвенные ферменты, кинетика Михаэлиса–Ментен, каталитическая эффективность ферментов

И. Д. Гродницкая, О. Э. Пашкеева, В. В. Старцев, А. А. Дымов Дыхательная активность и биоразнообразие микробиомов подзолистых почв постпирогенных еловых лесов Красноярского края и Республики Коми // Почвоведение. 2023. № 6. С. 758-773. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601347>

Представлены данные по микробиологическим свойствам подзолистых почв (Retisols) старовозрастных еловых лесов на территории средней тайги Красноярского края и Республики Коми. Несмотря на различное географическое положение, почвы этих регионов характеризуются близкими морфологическими и физико-химическими свойствами. В почвах ельников Республики Коми и Красноярского края не обнаружено достоверной разницы в накоплении микробной биомассы и скорости микробного дыхания. Однако содержание в почвах углерода и азота, а также микробной биомассы оказывало значимое влияние на качественный состав микробиомов пирогенных и непирогенных горизонтов почв. Отмечено существенное влияние пирогенного фактора на  $\alpha$ -разнообразие бактерий и грибов. Показано, что при освоении органического вещества с наличием пирогенного углерода активно участвуют представители доминантных фил бактерий (Proteobacteria, Actinobacteria и Planctomycetes) и грибов (Ascomycota, Basidiomycota и Mucoromycota). В состав микробиомов верхних пирогенных подгоризонтов входят группы карботрофных бактерий (Thermomonosporaceae, Isosphaeraceae, Bacillaceae, Xanthobacteraceae) и грибов из классов Dothideomycetes (p. Cenococcum), Eurotiomycetes (p. Penicillium), Sordariomycetes (p. Trichoderma), Leotiomycetes (p. Oidiodendron), Umbelopsidomycetes (p. Umbelopsis), которые способны к преобразованию продуктов пиролиза в доступные и нетоксичные субстраты для других организмов.

**Ключевые слова:** подзолистые почвы (Retisols), старовозрастные ельники, микробиомы, пирогенные и непирогенные горизонты, биоразнообразие прокариот и грибов

#### **Минералогия и микроморфология почв**

С.А. Юдин, О.О. Плотникова, В.П. Белобров, М.П. Лебедева, К.Н. Абросимов, Н.Р. Ермолаев Количественная характеристика микростроения типичных черноземов при использовании разных агротехнологий // Почвоведение. 2023. № 6. С. 774-786. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601438>

Представлены методические возможности микроморфологического исследования почв, с применением программного обеспечения, позволяющего делать цифровую

съемку шлифов с большим разрешением и на количественном уровне анализировать шлифы по характеру пористости, диаметру пор, форме и ориентации агрегатов, т.е. параметрам, характеризующим строение почв на микроуровне. Проведена апробация нового программного обеспечения Thixomet Pro для количественного микроморфологического изучения почвенных шлифов на примере типичных черноземов (Harlic Chernozem) научно-производственного опыта (Курская область) по оценке воздействия агротехнологий в зерновом севообороте: традиционной технологии и прямого посева – на фракционный состав агрегатов, их форму и ориентацию. Микроморфологический анализ шлифов с использованием программного обеспечения Thixomet Pro выявил вариабельность микростроения типичных черноземов в размерности фракций, форме и ориентации агрегатов, связанную с использованием в зерновом севообороте двух различных агротехнологий, применяющих обработку почв (вспашка с оборотом пласта) и не применяющих ее (прямой посев, no-till). В черноземе варианта прямого посева агрегаты в целом более крупные, что отмечается при сравнении с агрегатами чернозема варианта традиционной обработки на всех уровнях диаметра агрегатов: минимального, среднего и максимального. Тем не менее, при прямом посеве в агрегатном составе преобладают агрономически ценные фракции, характерные для устойчивой структуры целинных почв. Показано, что при прямом посеве формируются менее округлые и изометричные агрегаты, а доля субгоризонтально залегающих агрегатов по сравнению с традиционной обработкой повышена, что способствует сохранению влаги в поверхностном горизонте.

**Ключевые слова:** микроморфология, морфометрия почв, Harlic Chernozem, прямой посев, no-till

#### **Агрехимия и плодородие почв**

Abolfazl Azadi, Seyed Alireza Seyed Jalali, and Mir Naser Navidi "Assessment of Land Suitability for Sugarcane Cultivation Using TOPSIS and Parametric Methods in Southwestern Iran," Eurasian Soil Science, <https://doi.org/10.1134/S1064229322602268>

Parametric land suitability assessment (LSA) sometimes does not correspond to the reality of the region due to low index values. Thus, new multi-criteria decision-analysis approaches (MCDA) that consider the mutual effects of criteria, such as the TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) method, can be utilized. This study aimed to compare the efficiency of the TOPSIS approach and parametric methods in assessing land suitability for sugarcane cultivation in southwest Iran. Hence, 45 sugarcane fields were selected in sugarcane cultivation and industrial areas in the south of Khuzestan province. In each farm, one pedon was studied in detail. Soil samples were collected from different horizons and taken to the laboratory for the designated physicochemical analyses. Sugarcane yields over the past three years were also gathered for each farm in the study. Then, the land suitability index values were compared with the sugarcane yield in the studied units using Storie, square root, and TOPSIS methods. The results revealed that soil salinity (EC) exhibited the highest specific weight value for sugarcane farming followed by soil pH, calcium carbonate equivalent (CCE), and soil depth. Furthermore, the preferred value with the TOPSIS method for sugarcane cultivation ranged from 0.42 to 0.92. The explanation coefficient ( $R^2$ ) obtained by comparing the order of priority of 45 options with their observed performance using the Storie, square root, and TOPSIS methods was 0.62, 0.64, and

0.76, respectively. Our results revealed that TOPSIS outperformed the other two methods to determine land suitability for growing sugarcane. The multi-criteria method improved the land suitability class and resulted in a higher land suitability class than the traditional method, which is more consistent with the reality in the region. In conclusion, the results of this study demonstrated the high efficiency and potential of TOPSIS compared to other commonly used models. Overall, it can be concluded that agricultural land use can be better planned and managed with the TOPSIS method.

**Keywords:** land suitability assessment, parametric method (Storie and square root), TOPSIS method, crop yield, sugarcane, Aridisols, Entisols

## **Деградация, восстановление и охрана почв**

Ф.В. Гедгафова, О.Н., Горобцова, Т.С. Улигова, Н.Л. Цепкова, Р.Х. Темботов, Е.М. Хакунова, К.Х. Даова  
Оценка изменения биологической активности горных лугово-степных почв пастбищ разных стадий дигрессии Центрального Кавказа // Почвоведение. 2023. № 6. С. 787-798.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X22601268>

Определены показатели биологической активности (содержание и запасы гумуса, содержание и запасы углерода микробной биомассы, активность ферментов классов гидролаз и оксидоредуктаз) верхних горизонтов (0–10 см) горных-лугово-степных почв Центрального Кавказа (Кабардино-Балкария) при разных стадиях пастбищной дигрессии (Д1, Д2, Д3). Установлено, что значения контролируемых почвенных показателей в условиях слабо- (Д1) и средненарушенных (Д2) луговых фитоценозов достоверно не отличаются ( $t < 1.97$ ;  $P > 0.05$ ). В почвах сильнонарушенных луговых степей (Д3) выявлены статистически значимые снижения ( $t > 2.95$ ;  $P < 0.05$ ) биологических параметров по сравнению с менее поврежденными лугами (Д1 и Д2). На основе совокупности изученных показателей биологической активности рассчитан интегральный показатель эколого-биологического состояния почв (ИПЭБСП), отражающий общий уровень биологической активности изученных почв при разных стадиях дигрессии лугово-степных сообществ. Отмечено снижение ИПЭБСП умеренно выпасаемых (Д2) и перевыпасаемых (Д3) лугов относительно величин условного эталона (Д1) на 11 и 45% соответственно. Полученные результаты биологического состояния горных лугостепных почв используются для мониторинговых исследований, направленных на оценку степени изменения почвенно-растительного покрова горных пастбищных экосистем.

**Ключевые слова:** субальпийские луга, пастбища, гумус, углерод микробной биомассы, активность ферментов, Mollic Leptosols Eutric

