

Физика почв

Умарова А.Б., Бутылкина М.А. Сусленкова М.М. Александрова М.С. Ежелев З.С., Хмелева М.В., Шапацев А.К, Гасина А.И. Агрегатная структ-ура естественных и пахотных почв разного генезиса: морфологические и реологические характеристики // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1019-1032. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090136>

Агрегаты и капиллярно-насыщенные пасты суглинистых дерново-подзолистых почв (Albic Glossic Reticols (Lomic, Cutanic)), типичных и слитых черноземов (WRB – Haplic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic) и Vertisols), желтоземов (WRB – Alisols) в их естественном состоянии и агроиспользовании исследовали методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и на ротационном вискозиметре “Реотест-2” с коаксиальной цилиндрической системой. Агрегаты пахотных горизонтов дерново-подзолистой почвы и чернозема типичного имеют менее выраженную пористость и более плотную упаковку микроагрегатов по сравнению с естественными почвами. Для слитых черноземов наблюдается обратная картина – при больших увеличениях фиксируется микроагрегированность пахотного слоя, в то время как в гумусово-аккумулятивном горизонте залежи срез агрегата представлен слитой массой. Реологическое поведение почв выявило преобладание конденсационно-кристаллизационных структурных связей в пахотных слоях, сменяющихся с глубиной преобладанием коагуляционных структур, за исключением черноземов слитых, в верхних горизонтах которых хорошо развита коагуляционная структура и проявляется тиксотропия. Предел пластично-вязкого разрушения структуры более высокий в почвах, не вовлеченных в сельскохозяйственное использование, а “предел Шведова”, соответствующий началу деформационных процессов, напротив, ниже. Все исследованные образцы почв имели несколько пределов прочности, что свидетельствует об иерархической организации структуры почвенных агрегатов.

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы, черноземы типичные, слитые черноземы, желтоземы, структурная организация почв, реология, конденсационные связи, кристаллизационные связи, СЭМ

Смагин А. В. Термодинамическая концепция физического качества почв // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1033-1050. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090094>

Физическое качество почвы во многом определяется ее межфазными взаимодействиями при переменном содержании воды. Это обстоятельство позволяет считать кривые водоудерживания почв в виде функций содержания воды и ее термодинамических потенциалов индикаторами физического качества почвы и его динамики. Диаграммы физического качества почв в виде кривых водоудерживания с областями доминирования определенных физических механизмов и сил, отвечающих за взаимодействие физических фаз, получены для горизонтов, сгруппированных по пяти текстурным классам FAO/USDA, на основе базы данных (более 400 образцов) основных типов евразийских почв. Оригинальные инструментальные методы, использующие для удаления воды центробежное, гравитационное и температурное физические поля впервые дали возможность получать термодинамические характеристики водоудерживания во всем диапазоне возможного варьирования потенциала почвенной влаги от 0 до 1 млн Дж/кг. Основным фундаментальным результатом является физически обоснованная методология диагностики предельных (критических) значений содержания почвенной влаги и ее термодинамических потенциалов, разделяющих на диаграммах физического качества почв области доминирования различных форм почвенной влаги, физических сил и механизмов межфазных взаимодействий. Показано значение не капиллярных, поверхностных сил и механизмов, контролирующих водоудерживание и физическое качество почв. Практический интерес представляют результаты определения оптимальных диапазонов содержания влаги для различных по дисперсности и генезису почв Евразии в связи с их почвенно-экологическими и технологическими функциями и сервисами.

Ключевые слова: почвенная влага, термодинамический потенциал, капиллярность, расклинивающее

давление, удельная поверхность, устойчивость водных пленок, критические параметры водоудерживания, оптимальное содержание влаги в почве

Поляков Д. Г., Архангельская Т. А., Рябуха А. Г., Ковда И. В. Температуропроводность криоморфных почв степных комплексов на меловых породах // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1051-1060.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X21090069>

Исследована температуропроводность почв с признаками криоморфизма, сформированных на меловых породах в Оренбургской области. Криоморфизм проявляется в наличии таких морфологических признаков криогенных процессов, как полигональный микрорельеф, клиновидные грунтовые жилы, интрузии, зоны скопления крупнозема и плитчатая почвенная структура. Комплексный почвенный покров представлен Calcaric Regosol на микроповышениях, Calcaric Regosol (Ochric) на микросклонах и Rendzic Calcaric Phaeozem в микропонижениях. Почвы характеризуются высокой пространственной вариабельностью основных физических свойств: гранулометрический состав варьирует от среднего суглинка до средней глины, плотность почв – от 1.07 до 1.53 г/см³. Измерения температуропроводности проводили методом регулярного режима в диапазоне от максимальной влажности почвы после насыщения образцов под напором до воздушно-сухого состояния. Относительно низкая температуропроводность – от 1.53×10^{-7} до 2.88×10^{-7} м²/с – характерна для гумусовых горизонтов в микрозападине; горизонты почв на микросклоне и микроповышении имеют большую температуропроводность – от 1.76×10^{-7} до 5.06×10^{-7} м²/с. Температуропроводность почв положительно коррелирует с их плотностью, толщиной плитчатых агрегатов, содержанием мела и крупнозема и отрицательно коррелирует с содержанием органического вещества и илистой фракции. Ключевые слова: микрорельеф, палеокриогенез, комплексный почвенный покров, текстура почвы, крупнозем

И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню, Е.Н. Смоленцева, М.П. Семенова, В.И. Личко, Б.А. Смоленцев Влияние типа землепользования на физические свойства черноземов лесостепной зоны Западной Сибири // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1061-1075. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090045>

Система землепользования и агротехнические приемы оказывают значительное влияние на агрегатный состав и многие физические свойства почв. Приведена сравнительная оценка плотности, наименьшей влагоемкости (НВ) в образцах нарушенного сложения и агрегатного состава (метод сухого просеивания) черноземов глинисто-иллювиальных элювиированных (Luvic Greyzemic Chernozem), расположенных на территории Предалтайской лесостепной почвенной провинции в Западной Сибири и сформированных под длительно используемой и новоосвоенной пашней, 27-летней залежью и целинной степной растительностью. На каждом участке были отобраны по 3 смешанных образца из следующих слоев гумусового горизонта: 0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см. Влияние землепользования отразилось на изменении плотности только в верхнем 0–5 см слое, разуплотнение которого в течение 27-летнего залежного режима было статистически значимым. Различия по плотности между двумя пахотными участками и между залежью и целиной не были достоверными. Изменение величины НВ изученных почв в зависимости от землепользования проявлялось в слое 0–20 см. За 6 лет использования залежи под посевы зерновых, ее агрегатный состав стал практически идентичным таковому на старопахотном участке. На основании количества агрономически ценных агрегатов и значения коэффициента структурности агрегатное состояние всех изученных почв можно оценить как отличное. Таким образом, черноземы глинисто-иллювиальные лесостепной зоны Западной Сибири в условиях длительного использования под посевы сельскохозяйственных культур проявляют высокую степень устойчивости и сохраняют природную комковато-зернистую структуру.

Ключевые слова: агрегатный состав почв, структура почв, водно-физические свойства почв, изменение землепользования, чернозем глинисто-иллювиальный элювиированный, Luvic Greyzemic Chernozem

Шейн Е. В., Болотов А. Г., Дембовецкий А. В. Гидрология почв агроландшафтов: количественное описание, методы исследования, обеспеченность почвенных запасов влаги // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1076-1084. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090070>

Гидрология почв имеет глубокие российские корни, связанные, прежде всего, с теорией и практикой использования гидрологических констант. Эти критериальные величины использовались в основном для оценки гидрологических почвенных условий в стационарных наблюдениях, а попытки обустроить гидрологические наблюдения в ландшафте упирались в огромную, часто неисполнимую трудоемкость работ, расчетов, ненадежный количественный прогноз. В настоящее время появились новые возможности экспериментальных исследований, цифрового анализа и прогноза гидрологических показателей почв в ландшафте. Разработан новый количественный подход использования цифровых технологий для наблюдения за запасами влаги и температурой в почвах агроландшафта, динамики и вероятностных расчетов обеспеченности этих величин. На основе почвенной карты предложено создать информационно-измерительную систему с изученными тепло- и гидрофизическими характеристиками почв, с помощью математических моделей рассчитать динамику влаги и температуры для заданных периодов времени и условий различной обеспеченности теплом и осадками, что позволяет количественно оценить обеспеченность запасов влаги в почвах агроландшафта. Эта система наблюдений, оценки и прогноза включает применение современных технологий определения влажности и температуры почвы, адаптацию прогностических физически обоснованных моделей расчета динамики запасов влаги в зависимости от обеспеченности осадков и условий на нижней границе почвенных профилей. Рассматривается проведение гидрологического анализа почв на примере агроландшафта Зеленоградского стационара Почвенного института им. В.В. Докучаева в с. Ельдигино Пушкинского района Московской области РФ.

Ключевые слова: водный режим почв, тепловой режим почв, прогноз, прогнозирование, гидрофизика, физически обоснованные модели, гидротермические характеристики, дерново-подзолистые почвы, Albic Glossic Retisols (Lomic, Cutanic)

А. Н. Бугаец, Н. Ф. Пшеничникова, А. А. Терешкина, С. Ю. Лупаков, Б. И. Гарцман, В. В. Шапов, Л. В. Гончуков, О. М. Голодная, С. М. Краснопеов, Н. К. Кожевникова Цифровое почвенное картографирование для целей гидрологического моделирования на примере экспериментальных водосборов (юг Приморского края) // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1085-1096.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X21050051>

Для бассейна р. Правая Соколовка (южная часть хребта Сихотэ-Алиня, Приморский край) создана цифровая почвенная карта масштаба 1 : 50000. Основными единицами легенды являются почвенные подтипы. Сделана попытка адаптировать региональную номенклатуру почв к современной почвенной классификации России и провести корреляцию с номенклатурой почв Всемирной реферативной базы почвенных ресурсов (WRB). Описание каждого ареала включает сведения по условиям формирования почв на уровне подтипа. Показано, что в почвенно-растительном покрове четко выражена вертикальная зональность. В качестве объектов моделирования выбраны 3 малых водосбора с площадью 3.5–7.6 км². Для моделирования динамики компонентов водного баланса использована гидрологическая модель с открытым кодом SWAT. Для калибровки модели использованы данные литературных источников, стационарных исследований и наблюдательной сети Росгидромета. Для оценки результатов моделирования использованы общепринятые в гидрологии критерии. Модель хорошо воспроизводит гидрографы стока средних и многоводных лет, на 10–20% занижает пиковые значения расходов воды паводков, вызванных интенсивными осадками. Приводятся полученные в результате калибровки значения параметров модели и гидрологических характеристик почв, расчетные данные динамики элементов водного баланса.

Ключевые слова: почвенная карта, малые водосборы, моделирование стока, водный баланс, SWAT

Y. Yin, C. H. Liang, F. M. Xi, L. Y. Du, J. Y. Li, and L. Liu "Micro-Aggregate Stability in Greenhouse Management System in Northeast China," Eurasian Soil Science, 54 (9), - (2021).

<https://doi.org/10.1134/S1064229321090143> **опубликована только в английской версии**

Organomineral associations in micro-aggregate architecture are important in soil functions. The effect of greenhouse management on micro-aggregation should be investigated to rationally maximize the benefits of solar greenhouses. The relationships between combined organic matter and inorganic minerals were studied during a long-term greenhouse experiment for 15 years in Shenyang, China.

Stepwise settlement method was used to isolate micro-aggregate fractions. Combined organic matter, sesquioxides and combined inorganic phosphorus were also determined. The mass proportions of 50–250 and <1 μm size fractions decreased under long-term greenhouse management. The opposite trends were observed in 10–50 and 1–5 μm size fractions. Significant correlations were also determined between the combined organic matter and amorphous Al oxide, complex Fe and Al oxides, and phosphorus combined with Ca and occluded phosphorus. These results indicated that greenhouse management significantly affected the turnover of organomineral associations in micro-aggregates. Keywords: micro-aggregation, organomineral association, greenhouse age, solar greenhouse

Qiang Liu, Ping Xi, Jiali Miao, and Xiansheng Cao "An Alternative Simplified Evaporation Method for Measuring the Hydraulic Conductivity Function of the Unsaturated Soils," Eurasian Soil Science, 54 (9), (2021). <https://doi.org/10.1134/S1064229321090052> **опубликована только в английской версии**

The simplified evaporation method (SEM) is frequently used for the determination of the hydraulic conductivity function (HCF) of the unsaturated soil. Usually, the mass of soil samples during evaporation is often monitored to calculate the flux. However, the balance is sensitive to the external conditions, such as the tensiometers connected by the cables to transmit data, and the cable will have a disturbing effect on the balance. In this study, a series of laboratory tests were conducted to obtain the hydraulic conductivity function of six kinds of soils, which texture ranged from sand to silty clay by using the alternative simplified evaporation method (ASEM) that reduces the sensitivity of the external environment brought by the balance. The volumetric water content near the centre depth was monitored by the soil moisture sensor, and the change of flux during evaporation was calculated by the volumetric water content. At the same time, for comparison, the mass was monitored during the evaporation process, and the mass of evaporated water was used to calculate the flux (SEM). The HCF obtained by the ASEM was consistent with that obtained by the SEM.

Keywords: hydraulic conductivity function, unsaturated soil, volumetric water content

К.Н. Абросимов, К.М. Герке, Д.С. Фомин, К.А. Романенко, Д.В. Корост Томография в почвоведении: от ранних опытов к современным методам обработки данных (обзор) // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1097-1112. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090021>

Представлен обзор использования метода компьютерной томографии в исследовании почв с первых работ до настоящего времени. Проанализировано развитие метода компьютерной томографии в области аппаратного обеспечения и способов обработки томографических данных от первых попыток анализа структуры почв по томографическим срезам низкого качества до современных методов сегментации и анализа объемных структур с использованием специализированного программного обеспечения, корреляционных функций и нейросетей. Показаны возможности применения и определены тенденции развития методов обработки томографических данных в области изучения и анализа структуры почв. Приведены примеры из мирового опыта использования компьютерной томографии для почв, показаны различные способы сегментации данных, применявшиеся с первых исследований до настоящего времени. Представлена специфическая терминология, сложившаяся в рамках развития метода и различные морфометрические показатели для 2D и 3D изображений, разработанные или разрабатываемые в данный момент, дан прогноз развития метода на ближайшую перспективу. Ключевые слова: компьютерная томография, анализ изображений, поровое пространство, структура почвы, макротомография, mCT, XCT

Калнин Т. Г., Ивонин Д., Абросимов К. Н., Грачев Е., Сорокина Н. В. Анализ томографических изображений структуры порового пространства почв методами интегральной геометрии // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1113-1123. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090033>

работе использована методика численного анализа трехмерных томографических изображений порового пространства почвенных объектов. Она основана на применении методов интегральной геометрии, топологии и морфологического анализа. Для количественной характеристики изменения структуры порового пространства исследованы томографические изображения четырех ненарушенных образцов: тяжелосуглинистой агросерой почвы (Retic Phaeozem), агроминерального (Sapric Rheic Mineralic Histosols) и гипнового (brown moss Sapric Rheic Histosols) торфоземов в сухом и влажном состояниях.

Для образцов подпахотного горизонта агросерой почвы наблюдалось уменьшение обоих чисел Бетти в процессе смачивания, где нулевое число (b_0) отображает количество топологически простых, закрытых пор, а первое число (b_1) свидетельствует об уменьшении значения связности в более узком диапазоне в сравнении с b_0 . При увлажнении образца агроминерального торфозема характеристика Эйлера-Паункаре принимает отрицательные значения в диапазоне пор 0.1–0.16 мм, что говорит о преобладании сложной, разветвленной структуры порового пространства и высокой связанности пор. При насыщении гипнового мха большое количество туннельных пор сужаются (“схлопываются”), связанность уменьшается за счет особенностей сложения длинностольных растительных остатков. Количество пор и связей между ними в торфоземах на порядок превышает те же показатели агросерой почвы в горизонте А подпахотном. Приведенные количественные изменения предложенных параметров томографического изображения порового пространства почв подтверждают возможность их использования для оценки трансформации порового пространства почв.

Ключевые слова: пористость, функционал Минковского, числа Бетти, характеристика Эйлера-Паункаре, компьютерная томография, Phaeozem albic, Sapric Rheic Histosols

Суздалева А. В., Верховцева Н. В., Абросимов К. Н., Романычева А. А. Физико-томографическая характеристика и структура бактериального сообщества агрофизической системы прорастающие корни-поровое пространство почв (модельные физические экспериментальные исследования) // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1124-1132. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090112>

Компьютерная томография позволяет количественно охарактеризовать объемы элементов твердой фазы почв, порового пространства и корневой системы. В рамках физического модельного эксперимента с выращиванием проростков ячменя в течение 7 сут и томографической съемкой через равные промежутки времени фиксировалась динамика изменений структуры объемов почвенных пор и корней. Основная цель заключалась в количественной оценке изменений показателей пористости, диаметра и объема пор, при развитии корневой системы. Эксперимент проведен в образцах дерново-подзолистой (Albic Glossic Retisols (Loamic, Cutanic)) почвы и чернозема (Calcic Chernozem). В пластиковых бюксах объемом 3 см³ создавались модели семенного ложа с двумя слоями: подсеменным, уплотненным до 1.2 г/см³, и надсеменным с плотностью 0.7–0.8 г/см³. Семена ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Михайловский размещались на границе слоев. По мере прорастания проводилась томографическая съемка и исследование бактериального сообщества методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии. В этот период зафиксировано сокращение томографической пористости в подсеменном слое и изменение численности микроорганизмов, преимущественно выполняющих деструкцию сложных углеводных соединений. Томографические и микробиологические исследования показали взаимосвязанность происходящих процессов изменения объемов пор почвы, корней и состава микробиоты при прорастании семени.

Ключевые слова: Albic Glossic Retisols (Loamic, Cutanic), Calcic Chernozem, структура порового пространства почв, рентгеновская компьютерная томография почв, неинвазивная визуализация, структура микробиологического прикорневого сообщества

Скворцова Е. Б., Абросимов К. Н., Щепотьев В. В., Дмитренко В. Н. Пространственная организация пор в темно-серой почве со вторым гумусовым горизонтом (томографический анализ) // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1133-1142. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090082>

Проведено количественное морфологическое исследование пор в темно-серой почве со вторым гумусовым горизонтом (Luvic Retic Greyzemic Phaeozem (Loamic) [14]) Каширского района Московской области Российской Федерации. Цель работы заключалась в установлении специфических особенностей пространственной организации почвенных пор в качестве новых диагностических признаков полигенетичных почв со вторым гумусовым горизонтом (ВГГ) на территории Восточно-Европейской равнины. Исследования проводили с использованием лабораторного микротомографа Bruker SkyScan 1172 (Почвенный институт им. В.В. Докучаева). Показано, что для диагностики порово-структурного состояния второго гумусового горизонта уровень мезопор и тонких макропор более информативен, чем уровень грубых макропор. В диапазоне пор $d = 0.03–2$ мм анализ закрытой томографической пористости выявил двойственную природу ВГГ: по объему закрытых пор в образце он мало отличается от горизонта AU3e1, а по доле этих пор в поровом пространстве приближается к горизонту VT1e1. Подтверждено

диагностическое значение формы почвенных пор. Выявлено, что в толще ВГГ более половины пор $d = 0.1-2$ мм представлено изометричными изрезанными порами упаковки зернисто-комковатых агрегатов. Благодаря этому среднее арифметическое значение фактора формы F для тонких макропор в этом горизонте достигает величины $F = 0.5$. Отличие ВГГ от современных гумусовых горизонтов по форме тонких макропор можно расценивать как дополнительный аргумент в пользу реликтового происхождения ВГГ.

Ключевые слова: полигенетичные почвы, пористость почвы, форма пор, фактор формы пор, микроморфометрия пор

С. С. Тагивердиев, О. С. Безуглова, С. Н. Горбов, П. Н. Скрипников, Д. А. Козырев Особенности агрегатного состава в связи с соотношением углерода органического вещества и карбонатов в почвах Ростовской агломерации // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1143-1149.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X21090124>

Цель исследования – изучение трансформации почвенной структуры при урбопедогенезе и оценка связи между размерами агрегатов и содержанием углерода органического вещества и карбонатов. Исследовали почвы Ростовской агломерации, сравнивали состав агрегатов в черноземах миграционно-сегрегационных (Calcic Chernozems) и урбостратоземах на погребенных черноземах (Urbic Technosol). Агрегатный состав определяли методом Саввинова, содержание углерода – на приборе TOC-L CPN Shimadzu. Для установления различий в составе агрегатов разных генетических горизонтов выполнен расчет критерия Стьюдента и графический анализ доли структурных фракций в зависимости от содержания органического и неорганического углерода, сглаженных методом наименьших квадратов. Установлено, что доля воздушно-сухой фракции >10 мм в горизонтах урбик и в погребенных горизонтах достоверно увеличивается на 30% и больше. Это происходит за счет уменьшения доли фракций в диапазоне 7–0.5 мм. Достоверные различия в содержании водостойчивых фракций отмечены только в паре AU–[AU]: в погребенном горизонте уменьшается доля водостойчивых агрегатов размерностью >3 и 2–1 мм, и значительно возрастает вклад агрегатов 0.5–0.25 мм. Вероятно, эти изменения обусловлены предшествовавшим погребению урбаногенным распылением структуры. Распределение агрегатов по фракциям не связано с содержанием органического и неорганического углерода. Однако для каждой структурной фракции имеются области значений содержания органического и неорганического углерода, в которых сокращается интенсивность структурообразования. Это проявляется резким уменьшением содержания фракции в погребенных профилях относительно нативных.

Ключевые слова: структурно-агрегатный состав почв, чернозем миграционно-сегрегационный (Calcic Chernozems), урбостратозем (Urbic Technosol), антропогенная трансформация почв, органический углерод почв

Смагин А. В., Садовникова Н. Б., Беляева Е. А., Кириченко А. В., Кривцова В. Капиллярные эффекты в полидисперсных системах и их использование в почвенном конструировании // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1150-1164. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21090100>

Обсуждается капиллярный эффект в полидисперсных пористых системах почв и грунтов. Его количественная оценка основана на новой фундаментальной модели капиллярного подъема в зависимости от параметров дисперсности почвенных частиц, плотности сложения почвы и плотности ее твердой фазы, смачиваемости и количества прочносвязанной воды. В отличие от известного закона Жюрена, модель учитывает распределение частиц по размерам и изменение размера пор под влиянием плотности грунта. Модель адекватно предсказывает высоту капиллярного подъема как в искусственных монодисперсных пористых системах, так и в реальных почвах со спектрами частиц разного размера от 0.006 до 1 мм. Исследовано влияние природных и синтетических гидрофобизаторов на кинетику и предельную высоту капиллярного подъема. Приводятся результаты лабораторных и полевых исследований эффективности несовершенных – с гидравлической связью и совершенных – с эффектом ее разрыва капиллярных барьеров в сравнении с прогнозным моделированием в программе Hydrus-1D. Полученные результаты

используются для оценки капиллярности в почвах и дизайна почвенных конструкций с капиллярными барьерами.

Ключевые слова: почвы и грунты, капиллярный подъем, гранулометрический состав, удельная поверхность, плотность сложения, кривые водоудерживания, гидрофобизация, краевые углы смачивания, капиллярные барьеры