

Генезис и география почв

Р. В. Десяткин, С. Н. Лесовая, М.В. Оконешникова, А.З. Иванова, Н.В. Платонова Мерзлотные почвы бассейна р. Алазая: свойства, минералогический состав и классификация // Почвоведение. 2023. № 2. С. 131-142. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2260086X>

Изучены физико-химические свойства и специфика профильного распределения глинистых минералов в слабодифференцированных почвах в пределах Колымской низменности. Почвы сформированы в условиях холодного, ультраконтинентального климата. Объекты исследования заложены с учетом разнообразия ландшафтной структуры обширной приморской низменной равнины: на полосе маршевого луга, на северных равнинах с ледовым комплексом приозерных аласных лугов, в зональных типичных северо-таежных редколесьях. Несмотря на характерную для высоких широт слабую активность процессов выветривания в почвах отмечены результаты современного выветривания минералов – наличие вермикулита в кислых горизонтах почв аласа и межаласного комплекса и гидроксида железа – лепидокрокита в почве маршевого луга. Показано, что в соответствии с профильно-генетическим подходом национальной классификации, классификационная принадлежность криозема, расположенного в редколесье, не вызывает сомнений. Однако дальнейших разработок и уточнений требует классификация слабодифференцированных и в различной степени огленных мерзлотных почв, расположенных в ландшафтах, относимых к интразональным, – приморских маршевых лугов и аласов. Ключевые слова: криогенные почвы, глинистые минералы, лепидокрокит, почвы зональных, интразональных ландшафтов

М. И. Герасимова, Т. В. Ананко, Д. Е. Конюшков, Н. В. Савицкая Агрогенные почвы на обновленной версии почвенной карты России масштаба 1:2.5 млн: классификационное разнообразие и положение в почвенном покрове // Почвоведение. 2023. № 2. С. 143-153. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600846>

Измененные земледелием (агрогенные) почвы обычно не входят в содержание мелкомасштабных почвенных карт, в том числе Почвенной карты Российской Федерации масштаба 1 : 2.5 млн (1988). Одним из элементов ее обновления, проводимого в Почвенном институте им. В.В. Докучаева, является введение в содержание карты агрогенных почв и перевод в них части природных почв. Природные почвы были предварительно интерпретированы в формате классификации почв России. К агрогенным почвам отнесены типы агропочв разных отделов и типы почв отдела агроземов, различающиеся наличием или отсутствием диагностических горизонтов между пахотным и срединным (или породой) соответственно. Агрогенные почвы выделены в ранее определенных ареалах пахотных земель, наложенных на почвенную карту. Классификационная интерпретация распаханых исходно природных почв проведена с соблюдением определенных правил. Всего получено 114 единиц легенды агропочв и агроземов, за счет разнообразия исходных природных почв и их агрогенных модификаций. Агрогенные почвы на обновленной карте отмечены в 4813 из 25711 полигонов карты. По разнообразию агропочв, как и по числу полигонов с их участием, выделяются черноземы. В отделе текстурно-дифференцированных почв много агрогенных почв, как агропочв, так и агроземов. Пахотные почвы отдела альфегумусовых почв немногочисленны и представлены исключительно агроземами альфегумусовыми. Количество полигонов с участием агрогенных почв и их доля в почвенном покрове иллюстрируют географические закономерности их размещения, в частности однородность или мозаичность ареалов агрогенных почв разных отделов.

Ключевые слова: классификация почв России, отделы, агропочвы, агроземы, атрибутивная база данных карты, состав картографических единиц, текстурно-дифференцированные почвы, черноземы

Химия почв

М. И. Пятова, И. И. Толпешта, Ю. Г. Изосимова, М. М. Карпухин, Н. Ю. Барсова Качественная оценка вклада различных компонентов в адсорбцию Cu(II) аллю-виальной дерново-глеевой почвой // Почвоведение. 2023. № 2. С. 154-169. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22700022>

С использованием приема последовательного удаления различных видов сорбирующих компонентов, представленных органическим веществом, несиликатными соединениями железа и глинистыми минералам проведена качественная оценка вклада этих компонентов в адсорбцию Cu(II) аллювиальной дерново-глеевой почвой в условиях лабораторных равновесных экспериментов. Установлено, что вклад каждого из компонентов определяется как способностью к образованию поверхностных внутрисферных комплексов на рН-зависимых позициях, так и доступностью сорбционных центров в местах локализации постоянного заряда глинистых минералов. В горизонте АУ основными компонентами, сорбирующими Cu(II), являются органическое вещество и несиликатные соединения железа, а в горизонтах АВg и ВDg основной вклад в адсорбцию Cu(II) в условиях проведения эксперимента вносят глинистые минералы. Основным механизмом адсорбции Cu(II) в горизонте АУ является ионный обмен с H⁺ на функциональных группах органического вещества и поверхностных гидроксилы несиликатных соединений железа. В нижележащих горизонтах Cu(II) в основном сорбируется в результате ионного обмена с катионами, компенсирующими постоянный заряд кристаллических решеток глинистых минералов. Обработка почвы 10% H₂O₂ и реактивом Мера и Джексона приводит к изменению площади поверхности, качества и количества сорбционных центров, к трансформации кристаллических решеток глинистых минералов. Эти изменения должны учитываться при оценке вклада компонентов почвы в сорбцию ионов металлов.

Ключевые слова: механизмы адсорбции, тяжелые металлы, ионный обмен, поверхностные комплексы, несиликатные соединения железа, органическое вещество, глинистые минералы-Gleyic Umbrisols (Ruptic)

Г. А. Конарбаева, Е. Н. Смоленцева Фтор и йод в интразональных почвах Кулундинской равнины // Почвоведение. 2023. № 2. С. 170-183. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600792>

Содержание и распределение фтора (F) и йода (I) изучено на примере четырех почв, расположенных в котловине оз. Кучукское в Алтайском крае. Почвенные разрезы заложены на различных элементах микрорельефа в пределах древней озерной террасы. Чернозем текстурно-карбонатный стратифицированный (Calcic Chernozem (Loamic, Areninovic, Bathyraptic)) расположен на микроповышении, солончак квазиглееватый (Calcic Solonchak (Loamic, Sulfatic, Humic)) – в микропонижении. К микросклону между этими почвами приурочены солонец темный квазиглееватый засоленный (Protosalic Solonetz (Loamic, Humic)) и чернозем текстурно-карбонатный квазиглееватый засоленный (Calcic Gleyic Chernozem (Loamic, Endosalic)). Абсолютное превышение по высоте между черноземом и солончаком составляет 2 м. Определяли общее содержание галогенов и их подвижные формы: водорастворимую для F и солерастворимую для I. Содержание общего F в почвах в среднем составило 277.40 мг/кг (пределы варьирования 59.83–541.10 мг/кг), водорастворимого – соответственно 3.47 мг/кг (0.04–16.45 мг/кг). Установлено, что содержание общего F в сильной степени коррелирует с содержанием ила, карбонатов и водорастворимого натрия, а величина коэффициента корреляции зависит от типа почвы и ее положения в рельефе. Для водорастворимого F высокая положительная корреляция с аналогичными параметрами обнаружена для чернозема на микроповышении и солонца. Выявлено, что содержание общего I в почвах озерной террасы больше, чем в зональных, составляет в среднем 13.61 мг/кг почвы (5.27–15.21 мг/кг) и зависит от содержания ила и карбонатов. Влияния типа почвы и ее положения в микрорельефе на содержание общего I не выявлено. Среднее содержание солерастворимого I составляет 0.71 мг/кг (0.01–1.86 мг/кг). Для всех почв, кроме солончака, установлена взаимосвязь содержания I_{сол} с содержанием ила, карбонатов и водорастворимого натрия. Для солончака значимой корреляции между вышеназванными параметрами не установлено. Выявленную гетерогенность пространственного распределения F и I в почвах озерных котловин необходимо учитывать региональные особенности этих галогенов.

Ключевые слова: галогены, засоленные почвы, чернозем (Chernozem), солонец (Solonetz), солончак (Solonchak), озеро Кучукское, Западная Сибирь

В. А. Голубцов, Ю. В. Вантеева, М. А. Бронникова, А. А. Черкашина, Т. И. Знаменская Состав стабильных изотопов углерода органического вещества буроземов предгорий хребта Восточный Саян // Почвоведение. 2023. № 2. С. 184-202. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600937>

Оценка вариабельности состава стабильных изотопов углерода органического вещества буроземов актуальна для понимания реакции лесных почв на изменения условий педогенеза. Исследования проведены в предгорьях северо-восточного макросклона хр. Восточный Саян. Впервые установлено формирование здесь буроземов, являющихся одними из наиболее изотопно-легких почв Байкальского региона, что в наибольшей степени связано с благоприятными условиями увлажнения для растительности, формирующей их органическое вещество (величины $\delta^{13}\text{C}$ доминирующих видов варьируют от -32.6 до -27.8‰). Для органического вещества поверхностных горизонтов почв вариации значений $\delta^{13}\text{C}$ от разреза к разрезу не превышают 1‰ ($-25.81 \dots -26.81\text{‰}$), несмотря на существенные различия в характере поступления и последующей трансформации органического вещества. Отмечается значительный внутрипочвенный градиент значений $\delta^{13}\text{C}$ ($4\text{--}5\text{‰}$). Анализ различий интенсивности оборота углерода, выраженной через наклон линейной регрессии (β) значений $\delta^{13}\text{C}$ от содержания общего углерода в почве, изменяющихся с глубиной, показал, что изотопный профиль исследуемых буроземов складывается под влиянием микробной утилизации органического вещества, проявляющейся с разной интенсивностью в зависимости от строения органопрфиля. Повышенная интенсивность минерализации легкодоступных компонентов растительного материала в верхней части органопрфиля почв с развитой подстилкой и органо-аккумулятивными горизонтами может приводить к заметному росту значений $\delta^{13}\text{C}$ и более выраженному β в отличие от почв с преобладанием минеральных горизонтов в профиле.

Ключевые слова: почвенный углерод, почвы бореальных лесов, Cambisols, Восточное Присянье

Физика почв

Д.А. Ушкова, У.А. Конкина, И. В. Горепекин, Д. И. Потапов, Г.Н. Федотов Устойчивость агрегатов пахотных почв: экспериментальное определение и нормативная характеристика // Почвоведение. 2023. № 2. С. 203-210. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600834>

Устойчивость почв в современной физике почв распадается на два направления: водоустойчивость и устойчивость к механическим воздействиям: сдавливание, расклинивание. Оба свойства в насыщенной водой почве основаны на разрыве внутриагрегатных межчастичных связей. Однако нормативных физически обоснованных величин для характеристики устойчивости агрегатов не предложено. Цель статьи – обосновать физическое понятие “устойчивости почвенных агрегатов” и предложить единый методический прием количественной оценки устойчивости как нормативной почвенной характеристики. Разработан высокопроизводительный метод, основанный на рассеении линейно расположенных, насыщенных водой агрегатов при помощи лезвий, находящихся под контролируемой нагрузкой. Основными этапами методики являются вакуумирование агрегатов для устранения неконтролируемого влияния заземленного воздуха, насыщение агрегатов в вакууме водой и последующее определение устойчивости агрегатов к проникновению лезвий. Экспериментальные значения устойчивости получены для 17 почв. Это позволило сформировать нормативные диапазоны для горизонта А пахотных суглинистых почв: дерново-подзолистых – $17\text{--}19$, серых лесных – $27\text{--}29$, черноземов – $34\text{--}37$ мН/агр и др. и позволяет применять получаемую величину как почвенную характеристику устойчивости агрегатов. Обсуждается возможность использования величин устойчивости как методической основы мониторинга устойчивости и деградации почв, количественных направлений оценки состояния физических характеристик почвенных агрегатов, прежде всего, их основного параметра – устойчивости. Учитывая высоко корреляционную зависимость предлагаемой характеристики устойчивости от величин водоустойчивости, полученных методом Саввинова ($>85\%$), и высокую производительность метода определения устойчивости (предлагаемый метод примерно в 20 раз производительнее метода Саввинова) обсуждается возможность его использования и получаемых величин устойчивости агрегатов как

общефизической характеристики, так и отдельной величины для количественной оценки водоустойчивости.

Ключевые слова: почвенный агрегат, водоустойчивость, сопротивление расклиниванию

Биология почв

Е.Н. Патова, И.В. Новаковская, М.Д. Сивков Цианобактерии и водоросли биологических почвенных корок пятен-медальонов горных тундр Урала // Почвоведение. 2023. № 2. С. 211-225.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X22601001>

Изучено видовое разнообразие цианобактерий и эукариотных водорослей биологических почвенных корочек, формирующихся на пятнах-медальонах в кустарничково-мохово-лишайниковой и ерниково-лишайниково-моховой пятнистых горных тундрах Урала. Выявлено – 46 видов из пяти отделов: Cyanobacteria – 19, Ochrophyta – 1, Bacillariophyta – 2, Chlorophyta – 22, Charophyta – 2. Основу альгоценозов биологических корок исследованных пятен-медальонов формируют виды: Cyanobacteria: *Stigonema minutum*, *Gloeocapsopsis magma*, *Schizothrix fuscescens*, *Dasygloea cf. lamyi*, *Fischerella muscicola*, *Nostoc commune*, *Scytonema hofmannii*; Chlorophyta: *Sporotetras polydermatica*, *Coccomyxa simplex*, *Elliptochloris bilobata*, *E. subsphaerica*, *Lobochlamys culleus*, *Pleurastrum terricola*. Невысокое разнообразие водорослей и цианобактерий связано с экологическими условиями, формирующимися в этом типе местообитаний: нестабильный температурный режим верхних горизонтов почвы, кислые почвы с низкой степенью насыщенности основаниями, а также невысоким содержанием азота, фосфора и других биогенных элементов. Численность клеток цианобактерий и микроводорослей на исследованных пятнах-медальонах составила от 0.03 до 34.19 млн кл./г почвы. Средние скорости азотфиксации, измеренной методом ацетиленовой редукции, на голом грунте пятен-медальонов были в диапазоне от 0.009 до 0.015 мг C₂H₄ м⁻² ч⁻¹, в разных вариантах биологических почвенных корок – от 1.48 до 2.25 мг C₂H₄ м⁻² ч⁻¹. Исследованные пятна планируется использовать для стационарных наблюдений за сукцессионными процессами зарастания криогенных форм рельефа в условиях горных тундр.

Ключевые слова: эукариотные водоросли, комплексы доминантов, азотфиксация, горно-тундровые Почвы

Агрохимия и плодородие почв

В. П. Шабаев, В. Е. Остроумов Почвенно-агрохимические аспекты ремедиации загрязненной никелем почвы при применении ростстимулирующих ризосферных бактерий // Почвоведение. 2023. № 2. С. 226-239. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600925>

В вегетационных опытах изучено влияние внесения стимулирующих рост растений ризосферных бактерий на урожай и химический состав яровой пшеницы при выращивании на искусственно загрязненном водорастворимым соединением никеля гумусовом горизонте агросерой почвы (Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Loamic)). Применение бактерий *Pseudomonas fluorescens* 20, *P. fluorescens* 21 и *P. putida* 23 повысило устойчивость растений к повышенным концентрациям никеля и увеличило урожай, значительно уменьшая или полностью устраняя фитотоксичность тяжелого металла. Устойчивость растений, подвергнутых никелевому стрессу, при применении бактерий обусловлена: а) стимуляцией роста корней и увеличением накопления никеля в корневой системе, б) улучшением минерального питания растений – увеличением выноса ими биофильных элементов из загрязненной почвы вследствие увеличения урожая, в целом без существенных изменений содержания большинства элементов в растениях, в том числе в зерне. Применение бактерий увеличило вынос никеля надземными органами растений из почвы, тем самым усилило фитоэкстракцию – очистку от тяжелого металла и, следовательно, ремедиацию почвы. Установлено распределение никеля в почве во фракциях, выделенных методом последовательных селективных экстракций. В первой половине вегетационного периода внесение бактерий увеличило содержание никеля в почве, главным образом, в обменной и специфически сорбированной фракциях и, в меньшей мере, во фракциях, связанных с органическим

веществом и с железистыми минералами, и уменьшило содержание металла в остаточной фракции. Увеличение накопления никеля в растениях при внесении бактерий соответствовало повышенному содержанию тяжелого металла в почве в составе соединений, связанных с обменной и специфически связанной фракциями. При полной спелости растений не обнаружено значимых изменений в фракционном составе никеля в почве. Применение бактерий может быть рекомендовано при разработке стратегий ремедиации загрязненных никелем почв на основе экологически безопасных технологий. Ключевые слова: *Pseudomonas*, *Triticum aestivum* L., агросерая почва, Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Loamic), химический состав растений, фракции Ni в почве

Деградация, восстановление и охрана почв

Т. В. Королева, И. Н. Семенов, С.А. Леднев, О.С. Солдатова Гептил и продукты его трансформации в почвах: источники поступления, диагностика, поведение, токсичность и ремедиация загрязненных территорий (обзор) // Почвоведение. 2023. № 2. С. 240-258. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600998>

В контексте почв обсуждаются вопросы экологической безопасности использования синтетического высокотоксичного органического вещества – гептила, или несимметричного диметилгидразина (НДМГ), проведен сравнительный анализ российских методик измерений его массовой доли, охарактеризовано поведение и взаимодействие с компонентами экосистем и обобщен существующий опыт детоксикации возникшего загрязнения. Несмотря на длительное использование НДМГ, аналитические методы его определения в почве далеки от совершенства, имеют ряд существенных недостатков и требуют дальнейшего развития. Возможность обратного синтеза НДМГ из продуктов трансформации при использовании щелочного или кислотного гидролиза при пробоподготовке требует учета всего разнообразия форм его существования в почвах для надежной оценки скорости трансформации и степени опасности для экосистем и человека. Загрязнение окружающей среды гептилом при штатной эксплуатации ракет-носителей в настоящее время незначительно. Однако большие количества гептила могут поступать в экосистемы в результате аварий при пусках ракет-носителей. В кислых торфяных почвах (Histosols) на штатных местах падения первых ступеней ракет-носителей в Архангельской области загрязнение гептилом сохраняется как минимум в течение 10 лет, а в щелочных почвах (Arenosols, Gypsisols, Solonetz) районов падения отработавших ступеней в Улытауской области Казахстана за счет быстрого испарения и трансформации – не более одного года. Существующие в России технологии очистки загрязненных гептилом почв можно разделить на термические, сорбционные, биологические и др., часть которых основана на окислении гептила с образованием огромного количества дериватов, свойства и токсичность которых мало изучены.

Ключевые слова: загрязнение почв, органические поллютанты, ракетное топливо, нормативы качества, риск здоровья человека

А. П. Жидкин, М. А. Комиссаров, Е. Н. Шамшурина, А. В. Мищенко Эрозия почв на Среднерусской возвышенности (обзор) // Почвоведение. 2023. № 2. С. 259-272.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X22600901>

В настоящем литературном обзоре проанализировано более 100 публикаций об эрозии почв на Среднерусской возвышенности – одном из самых эрозионно-опасных регионов России. Выборка научных трудов осуществлялась из открытых web-ресурсов, отечественных и международных баз цитирования. Проанализирован следующий ряд параметров: время, географическое положение, масштаб и методы исследований, почвенные и геоморфологические особенности, противозерозионные мероприятия, тип эрозии и темпы смыва/намыва почв, библиографические сведения о публикации. Отмечен дефицит работ на мелкомасштабном и среднемасштабном уровнях. Выявлена приуроченность крупномасштабных исследований к основному водоразделу Среднерусской возвышенности. Отмечаются расхождения в оценках эрозии почв разными авторами, в особенности на разных масштабных уровнях. Анализ изменений эрозии почв во времени свидетельствует о снижении темпов эрозии почв в целом на Среднерусской возвышенности, преимущественно за счет изменения климата и сокращения площади пашни. Выявлен дефицит исследований ливневой, механической и ветровой эрозии почв на данной

территории.

Ключевые слова: анализ публикаций, масштаб и методы исследований, пространственно-временные изменения, талый смыв, ливневая эрозия, Тульская область, Орловская область, Курская область

Ю. Д. Сергеева, А. П. Кирюшина, В. К. Калеро, О.А. Федорова, В. А. Терехова Сравнение эффективности микро- и наночастиц нульвалентного железа при детоксикации техногенно загрязненной почвы // Почвоведение. 2023. № 2. С. 273-282. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600962>

Исследовали безопасность сорбентов на основе нульвалентного железа в форме микро- и наночастиц и их детоксицирующую активность в торфяной эвтрофной почве (Eutric Histosol), загрязненной выбросами медно-никелевого комбината (Кольской п-ов, Россия). Наночастицы железа, как и микрочастицы железа, в дозе 2% оказались нетоксичными по результатам трех стандартных биотестов, основанных на реакциях тест-организмов разной таксономической принадлежности. Токсичность оценивали по изменению длины корней проростков растений *Sinapis alba* L. в незагрязненном торфе, по выживаемости цериодафний *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg и простейших инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg в водных экстрактах образцов. Fe-содержащие препараты достоверно снижали экотоксичность почвы, обусловленную экстремально высоким содержанием меди (6877 мг/кг) и никеля (2580 мг/кг). Выявлены различия в ремедирующей способности препаратов. По результатам фитотестирования почвы наночастицы железа значительно превосходили детоксицирующий эффект микрочастиц железного порошка. При анализе водной вытяжки превосходство наночастиц в уменьшении токсичности почвы не обнаружено. Оценка детоксицирующей способности наночастиц нульвалентного железа зависит от почвенных свойств и вида растения, которое используется при фитотестировании. В стандартных биотестах с *S. alba* фитотоксичность наночастиц в 1.5 выше, чем микрочастиц железа (длина корней 117 ± 4.3 и 80 ± 7.6 мм соответственно). При оценке хронической фитотоксичности тех же почв на многолетней культуре райграса *Lolium perenne* L. различий в добавках микро- и наночастиц нульвалентного железа не выявлено.

Ключевые слова: наносорбенты, экотоксичность, тяжелые металлы, ремедиация, биодоступность, фитотест, цериодафнии, инфузории