

Генезис и география почв

Ямнова И. А., Черноусенко Г. И. Гипсоносные гажевые почвы суббореального пояса Евразии // Почвоведение. 2023. № 1. С. 3-19. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600603>

Дана сравнительная характеристика гажевых почв, сформированных в разных климатических условиях суббореального пояса – лесостепи, степи, полупустыни и пустыни. Приведен их морфологический, микроморфологический, минералогический и химический анализ. Генезис гажевых горизонтов разный: седиментационный – результат инситного выветривания плотных гипсодержащих пород, гидрогенный – результат выпадения из грунтовых вод. Показано, что несмотря на различное происхождение гажевого горизонта этих почв, гипс представлен “мучнистыми” формами, размер кристаллов <0.25 мм, содержание гипса >50%, часто содержит карбонаты и легкорастворимые соли с преобладанием сульфата натрия и магния. Полевая диагностика гажевого горизонта и определение содержания гипса в нем химическими методами оказываются не всегда корректными; для точного определения состава солей необходим минералогический анализ. Анализ микроморфологического строения ярко демонстрирует генезис гипса: в гидрогенных условиях при выпадении гипса из грунтовых вод или полупроточных водоемов отмечается преимущественно гипсовый материал, часто субпараллельного микросложения, тогда как при инситном или латеральном делювиальном перемещении наблюдается совместное отложение гипса с силикатным материалом.

Ключевые слова: микроморфология, минералогический анализ, солевой состав, формы гипса, карбонатность почв, *Hypergypsic Solonchak*, *Halpic Gypsisol*, *Endocalcic Solonchak*

О. В. Шопина, А. П. Гераськина, А. И. Кузнецова, Е. В. Тихонова, А. В. Титовец, И. М. Бавшин, В. Р. Хохряков, И. Н. Семенов Стадии восстановления почвенной морфологии и макрофауны сосновых лесов Смоленского Поозерья после распахки // Почвоведение. 2023. № 1. С. 20-34. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600706>

Убыль сельского населения в России сопровождалась забрасыванием земель сельскохозяйственного назначения с последующим восстановлением лесных ценозов. Цель работы – исследование почв и фитоценозов шести стадий восстановления сосновых лесов на легких по гранулометрическому составу породах на северо-западе Смоленской области. Приведены результаты по 18-ти ключевым участкам, характеризующим каждую из шести стадий в тройной повторности. Под агроценозами и однолетними залежами вскрыты агроземы (*Arenosols (Aric)*) с мощным пахотным горизонтом, минимальной численностью и биомассой макрофауны, представленной в основном фитофагами и сапрофагами. Морфологические свойства постагрогенных серогумусовых почв (*Arenosols (Ochric)*) и дерново-подбуров (*Entic Podzols*) второй стадии относительно первой отличаются слабо, но биомасса макрофауны максимальна среди почв всех стадий. Основной вклад в нее вносят личинки насекомых ввиду интенсивного заселения лугов летающими насекомыми. Молодые – до 30 лет – сосняки произрастали на аналогичных почвах второй стадии восстановления с заметными следами постагрогенной трансформации. За 10 лет развития леса сформировалась подстилка и протогумусовый горизонт. В средневозрастных – 70–80 лет – сосняках на дерново-подбуров постагрогенных реградированных морфологически проявляются признаки элювиального процесса. В составе макрофауны уменьшается доля подстилочного населения. В лесах старше 80 лет начинается распад соснового древостоя с формированием сложного ельника. В почвах исчезает ровная нижняя граница старопашотного горизонта без формирования подзолистого горизонта. Здесь выявлена максимальная биомасса подстилочной макрофауны. За заключительную стадию приняты сосняки кустарничково (бруснично)-зеленомошные старше 90 лет, произрастающие на подзолах (*Albic Podzols*), сохранивших остатки старопашотного горизонта. Среди макрофауны по биомассе преобладают подстилочные формы, однако биомасса меньше по сравнению с предыдущей стадией. Почвы пятой и шестой стадий при сопоставимом возрасте лесов имеют разную степень морфологического проявления альфегумусового процесса.

Ключевые слова: сукцессия, постагрогенные почвы, беспозвоночные, подстилка, Podzols, Arenosols

Биология почв

И.В. Евдокимов, М.В. Семенов, С.С. Быховец Ризосферный эффект и структура бактериального сообщества в горизонтах подзолистой почвы под растениями ели обыкновенной (*Picea abies* L.) // Почвоведение. 2023. № 1. С. 35-45. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22700010>

На экспериментальных площадках Центрального лесного государственного заповедника (Тверская область, Россия) исследовали взаимосвязь между величинами ризосферного фактора R_f для ряда индикаторов биологической активности в почве, принадлежностью ризосферы ели (*Picea abies* L.) к почвенному горизонту и структурой микробного сообщества ризосферы ели и внекорневой почвы. Объектами исследования стали гумусовый АЕЛ (3–15 см) и элювиальный ЕЛ (15–46 см) горизонты подзолистой почвы (Retisol) под ельником. Наиболее выраженный ризосферный эффект ($R_f > 1.6$) был выявлен для углерода микробной биомассы, дыхания почвенных микроорганизмов и скорости оборачиваемости почвенного органического вещества (ПОВ). Величина R_f для скорости оборачиваемости ПОВ в гумусовом горизонте АЕЛ оказалась примерно равной 1.5, в то время как в горизонте ЕЛ она достигала 6. В ризосфере было выявлено значительно большее микробное разнообразие, с высоким вкладом как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий, включая представителей Acidobacteria, Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Solibacteres и Spartobacteria. В неризосферной почве доминировали грамположительные порядки Bacillales и Clostridiales с общим вкладом более чем 80 и 50% для горизонтов АЕЛ и ЕЛ соответственно. Судя по количеству показателей микробной активности с высокими величинами R_f (3 для нижнего почвенного горизонта ЕЛ и только 1 – для верхнего гумусового горизонта АЕЛ), ризосферу нижнего горизонта можно считать более ярко выраженной “горячей точкой” (“hot spot”) биологической активности, чем ризосферу верхнего горизонта.

Ключевые слова: микробная биомасса, кинетические константы дыхания, биоразнообразие, структура почвенного микробного сообщества

Агрохимия и плодородие почв

Н. Ю. Кулакова, Г.Г. Суворов Перенос и аккумуляция биофильных элементов в пастбищных экосистемах Северного Прикаспия // Почвоведение. 2023. № 1. С. 46-57. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600755>

Оценены масштаб и последствия переноса биофильных элементов из пастбищных экосистем на овцеводческие фермы в глинистой полупустыне Северного Прикаспия при принятом в регионе способе пастбищного животноводства на примере Степновского поселения Палласовского района Волгоградской области. Для расчетов использованы данные по химическому составу растений доминантов и фекалий овец, средние многолетние значения продуктивности фитоценозов, сведения о норме потребления подножного корма животными и т.д. Исследованы почвы пастбищ и заповедного участка, а также почвы на овцеводческой ферме. С 1 га пастбищ (15% территории) за 6 мес. пастбищного сезона переносится на фермы (0.1% территории) не менее 17 т С, 600 кг Са, 260 кг N, 100 кг Mg, 50 кг К, 40 кг Р и 1 кг S. Многолетние запасы помета на фермах, более 1 тыс. т в рассматриваемом примере, практически исключаются из круговорота в ландшафте. Занимающие незначительные площади почвы ферм обогащаются С, N, Р и К. Относительно почв заповедного участка запасы водорастворимого К увеличиваются в слое 0–30 см на 2 порядка, обменного К – до 12–16 раз, С – до 8 раз, N – до 3 раз, подвижного Р – до 2 раз. В пастбищных лугово-каштановых почвах обнаружено уменьшение содержания С в 1.3 раза, обменных форм К в 1.6 раза относительно почв заповедного участка, в солонцах на пастбищах уменьшения концентрации элементов не отмечено. Отсутствие статистически значимых различий в запасах биофильных элементов между пастбищными почвами и почвами заповедного участка частично объясняется увеличением плотности почвы на 0.08 г/см³ в слое 0–50 см пастбищных почв. При существующем методе ведения хозяйства необходим контроль за балансом биофильных элементов в пастбищных почвах.

Ключевые слова: полупустыня, почвы пастбищ, запасы С, N, P, K, продуктивность фитоценозов, *Halpic Kastanozem*, *Gypsic Salic Solonetz*

В. М. Семенов, Т. Н. Лебедева, Н. Б. Зинякова, Д. А. Соколов, М. В. Семенов Эвтрофикация пахотной почвы: сравнительное влияние минеральной и органической систем земледелия // Почвоведение. 2023. № 1. С. 58-73. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600676>

Под агрогенной эвтрофикацией почвы понимается ее искусственное обогащение органическим углеродом и питательными элементами в результате внесения минеральных и органических удобрений с целью повышения плодородия почвы и продуктивности растений. Эвтрофикация серой лесной почвы (*Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Loamic)*) создавалась ежегодным внесением возрастающих доз минеральных (N 90–360, P₂O₅ 75–300 и K₂O 100–400 кг/га) и органических (свежий навоз крупного рогатого скота от 25 до 100 т/га) удобрений под культуры пятипольного севооборота в течение девяти лет микрополевого опыта. Количество внесенного с навозом NPK было приблизительно равным соответствующим дозам минеральных удобрений. Скорость обогащения почвы Сорг при минеральной и органической системах удобрения составляла соответственно 0.29–0.38 и 0.76–1.56 г/(кг год), Нобщ – 0.04–0.06 и 0.06–0.09 г/(кг год), подвижным P₂O₅ – 4–57 и 11–55 мг/(кг год), подвижным K₂O – 5–44 и 6–31 мг/(кг год). Дозы удобрений при обеих системах были самым значимым фактором накопления в почве азота нитратов, подвижных форм фосфора и калия, тогда как накопление Нобщ контролировалось длительностью применения удобрений. Содержание Сорг в почве при органическом и минеральном удобрении зависело от дозы навоза и от длительности внесения NPK соответственно. Эвтрофикация почвы минеральными удобрениями сопровождалась уменьшением рН почвы, а эвтрофикация органическими удобрениями, наоборот, вела к увеличению рН. Подчеркивается, что переудобренность и многолетнее применение удобрений являются главными факторами развития почвенной эвтрофикации и сопутствующего изменения рН почвы.

Ключевые слова: серая лесная почва, Сорг, Нобщ, N– подвижный P₂O₅, подвижный K₂O, рН почвы, переудобренность

К.В. Павлов, Е.В. Морачевская, А.П. Власова, Н.А. Манучарова Микробиологическая активность чернозема при совместном применении хлорида калия с азотными удобрениями // Почвоведение. 2023. № 1. С. 74-80. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600822>

С целью оценки возможного токсического эффекта от хлорида калия, применяемого совместно с минеральными азотными удобрениями, изучалась структурная и функциональная составляющие микробного комплекса чернозема, в частности, его прокариотный компонент. Объектом исследований являлись почвенные образцы чернозема типичного, отобранные из вегетационного опыта с вариантами с внесением азотно-фосфорных и азотно-фосфорно-калийных удобрений. Для получения устойчивого действия легкорастворимых солей на микробное сообщество почвы проведено долгосрочное компостирование почвенных образцов при чередовании циклов увлажнения и высушивания почвы. В течение первых двух лет компостирования обнаружено подавление эмиссии диоксида углерода, которое нивелировалось только спустя 5 лет. Первоначальное сокращение эмиссии углекислого газа, как и активности денитрификации, достигало двукратных значений. Негативный эффект проявлялся при содержании в почве хлоридов и нитратов существенно ниже градации, установленной для слабозасоленных почв. Длительное компостирование образцов плодородного чернозема под действием хлорида калия привело к уменьшению численности и биомассы метаболически активного прокариотного комплекса, что подтверждает его токсическое действие на микробное сообщество почвы. Определены устойчивые и чувствительные к повышенному содержанию хлоридов и нитратов в почве представители прокариотного комплекса. Среди представителей домена *Bacteria* практически все оказались чувствительными за исключением двух филлумов *Firmicutes* и *Verrucomicrobia*. Для некоторых представителей филогенетической группы *Actinobacteria* чувствительность к ионам хлора подтверждается на родовом уровне (*Streptomyces* и *Micromonospora*). Для домена *Archaea* представители филума *Euryarchaeota* выявляются как наиболее устойчивые к наличию хлоридов. Таким образом, подавление микробиологической активности чернозема при внесении хлорида калия объясняет

выявленное ранее уменьшение доступности питательных элементов для растений.

Ключевые слова: Каменная степь, прокариотный комплекс, минеральные удобрения, эмиссия диоксида углерода, активность денитрификации, *Voronic Chernozem*

Деградация, восстановление и охрана почв

А. Неаман, К. Яньезс Дождевые черви в экологической оценке почв, загрязненных меднодобывающей промышленностью в Чили: обобщение авторских исследований // Почвоведение. 2023. № 1. С. 81-88.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X22600627>

Почвенная фауна может служить эффективным инструментом для экологической оценки почв. Из организмов, используемых для анализа токсичности металлов, металлоидов и других поллютантов, особое место занимает навозный червь *Eisenia fetida* L. Многие исследования показывают, что концентрации металлов и металлоидов, оказывающиеся токсичными для дождевых червей, были на порядок ниже в искусственно загрязненных почвах, чем в техногенно загрязненных почвах. Новизна наших исследований заключается в использовании нативных техногенно загрязненных почв для получения оценок токсичности. Обобщены результаты двух экспериментов, демонстрирующие возможность использования навозного червя для экологической оценки почв, загрязненных металлами и металлоидами вследствие деятельности медных горнодобывающих предприятий в центральном районе Чили. Основным загрязнителем в этих почвах следует считать медь, однако мышьяк в загрязненных почвах также присутствует, поскольку он также обычно входит в состав медных руд. Установлено, что в краткосрочном тесте повышенное содержание меди предопределило избегание почв червями *E. fetida*. Однако в долгосрочных экспериментах более токсичным элементом для размножения червей оказался мышьяк, а эффект меди был менее выражен. Представлены результаты определения порогов токсичности меди и мышьяка для *E. fetida* в нативных техногенно загрязненных почвах.

Ключевые слова: токсичность, медь, мышьяк, *Eisenia fetida* L., зависимости доза-эффект, *Dystric Arenosols*, *Eutric Fluvisols*

Е. В. Кузина, Г. Ф. Рафикова, С. Р. Мухаматдырова, Ю. Ю. Шарипова, Т. Ю. Коршунова Биологическая активность чернозема выщелоченного при нефтяном и хлоридно-натриевом загрязнении и влияние на нее обработки галотолерантными бактериями-нефтедеструкторами // Почвоведение. 2023. № 1. С. 89-101.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X22600718>

Загрязнение почв нефтью часто сопровождается загрязнением сточными водами нефтепромыслов, содержащими значительное количество NaCl, что усиливает негативное воздействие углеводородов на почву, растения и почвенную микробиоту. Поэтому для биотехнологической очистки таких комплексно загрязненных почв следует использовать устойчивые к засолению углеводородокисляющие бактерии. В модельном эксперименте изучено влияние искусственного загрязнения нефтью (5%) и хлоридом натрия (1 и 3%) и их сочетаниями, а также биоремедиации с использованием галотолерантных углеводородокисляющих бактерий на биологическую активность чернозема выщелоченного (*Luvic Chernozem*). Контаминация почвы всеми видами загрязнения увеличивала ее фитотоксичность, при этом бактериализация не оказывала положительного эффекта на этот показатель в присутствии NaCl, а также при комбинированном загрязнении, но способствовала уменьшению токсичности для растений нефтесодержащей почвы. Наиболее чувствительными к присутствию нефти и/или NaCl были актиномицеты, численность которых уменьшалась на 1–2 порядка. Интродукция микроорганизмов усиливала разложение углеводородов, в том числе в комплексно загрязненной почве на 10.5–31.8%. Наличие поллютантов подавляло активность почвенных ферментов. Бактериализация способствовала некоторому повышению уровня активности каталазы в почве с нефтью, восстанавливала активность уреазы в нефтесодержащей почве и при совместном действии поллютантов и увеличивала активность инвертазы при комбинированном загрязнении.

Ключевые слова: нефть, засоление, биодеструкция, фитотоксичность, активность почвенных ферментов

Н.Д. Ананьева, Р.Ю. Хатит, К.В. Иващенко, С.В. Сушко, А.Ю. Горбачева, А.В. Долгих, М.С. Кадулин, Ю.Л. Сотникова, В.И. Васенев, А.Е. Комарова, А.В. Юдина, Э.А. Довлетярова Биофильные элементы (CNP) и дыхательная активность микробного сообщества почв городских лесопарков Москвы и

В шести лесопарках Москвы и четырех пригородных фоновых лесах (по 5 площадок в каждом, $n = 50$) оценены почвенные физические, химические свойства и микробиологические характеристики верхнего 10-сантиметрового слоя в совокупности с фитоценотическими показателями. Определено содержание углерода (С), азота (N) и фосфора (P) в почве и микробной биомассе. Выявлено, что в лесопарках по сравнению с фоновыми лесами возрастает плотность почвы, значение pH, содержание N–Ca и тяжелых металлов (Pb, Cu, Ni, Zn). В почве лесопарков отмечено уменьшение содержания С микробной биомассы (Смик), скорости ее базального дыхания (БД) и доступности микроорганизмам С и N (Смик/С, Nмик/N, БД/С). Регрессионный анализ показал, что изменение почвенных микробиологических характеристик связано, главным образом, с уменьшением обилия листовенного опада и содержания в почве доступного С (13–35% объясненной дисперсии). Дыхательный отклик почвенных микроорганизмов на внесение легкодоступных органических субстратов (углеводов, карбоновых и фенольных кислот, аминокислот, аминсахаров) в лесопарках и фоновых лесах значимо не различался. В почвах лесопарков также не выявлено изменений в микробной минерализации и иммобилизации P (Рмик, Рмик/P). В условиях урбанизации в почвах лесных экосистем происходит уменьшение интенсивности процессов, связанных с циклами С и N. По-видимому, такие изменения обусловлены рекреационной нагрузкой и существующей практикой ухода за зелеными насаждениями, что приводит к сокращению количества опавшей листвы по сравнению с загородными лесами.

Ключевые слова: городские почвы, зеленая инфраструктура, микробная биомасса, минерализация органического вещества, загрязнение

В. Д. Приходько, К. Ш. Казеев, В.В. Вилкова, М. С. Нижельский, С. И. Колесников Изменение активности ферментов в постпирогенных почвах // Почвоведение. 2023. № 1. С. 118-128. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600743>

Представлены данные по изменению ферментативной активности почв при пирогенном воздействии в модельных экспериментах, имитирующих природные пожары. В лабораторных и естественных условиях выполнена серия опытов, направленных на изучение пирогенного ингибирования активности ферментов и динамики их восстановления в постпирогенных почвах. Объектами исследования явились песчаная почва (серопески, Arenosol) и чернозем миграционно-сегрегационный (Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)) Ростовской области. Модельные опыты выполнены путем обработки почвенных образцов пламенем газовой горелки (количество теплоты $87-435 \times 10^3$ Дж) и пирогенного воздействия при горении древесного топлива ($10-279 \times 10^6$ Дж). В первом случае продолжительность воздействия составила от 1 до 5, во втором – от 1 до 120 мин. Выявлен отклик ферментов (каталазы, инвертазы, уреазы, пероксидазы и фосфатазы) на воздействие низкотемпературной плазмы (1–120 мин), который отличался в зависимости от группы фермента и степени воздействия. Установлено, что глубина проникновения термического воздействия при имитации пожаров ограничивается верхним слоем почвы (0–10 см), а радиус распространения относительно источника горения не превышает 20 см. Температурные значения варьировали в зависимости от времени, источника воздействия и количества топлива (400–600°C). Песчаные почвы и чернозем нагревались и остывали с разной скоростью. Выявлена обратная зависимость активности каталазы, инвертазы и уреазы от интенсивности воздействия пирогенного фактора. Прослежена динамика восстановления активности ферментов в постпирогенных почвах. Активность инвертазы восстанавливается быстрее, чем активность каталазы и уреазы, но полного восстановления спустя год не происходит. Полученные результаты свидетельствуют о значительно пролонгированном эффекте ингибирования ферментативной активности при имитации природных пожаров.

Ключевые слова: пожары, пал, биологические индикаторы, ферментативная активность