

Деградация, восстановление и охрана почв

А. И. Сысо, Д. А. Соколов, Т. И. Сиромля, Ю. В. Ермолов, И. Д. Махатков Антропогенная трансформация свойств почв ландшафтов Таймыра // Почвоведение. 2022. № 5. С. 521-537.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X22050082>

В целях оценки экологического состояния и антропогенной трансформации почвенного покрова Таймыра изучены состав и свойства почв естественных и техногенных ландшафтов на северо-западе Среднесибирского плоскогорья и в Северо-Сибирской низменности. В техногенных ландшафтах исследованы литостраты сильнокаменистые (Skeletal Technosols) и органолитостраты торфяно-тяжелосуглинистые (Endoskeletal Technosols), в техногенно-нарушенных ландшафтах – подбуры (Spodic Cryosols), криоземы (Turbic Cryosols), хемокриоземы (Toxic Turbic Cryosol), хемолитоземы криогумусовые (Toxic Leptosols). В естественных ландшафтах низменности изучены криоземы, торфяно-криоземы (Histic Cryosols), торфяно-глееземы (Haplic Cryosols), аллювиальные (Fluvisols) и аллювиальные глеевые (Gleyic Fluvisols) почвы. На Таймыре располагается Таймыро-Норильская платиноидно-медно-никелевая провинция. Поэтому почвы Норильского промышленного района исходно или техногенно обогащены Cu, Ni, Co, Cr, S–SO₄. В качестве региональных фоновых величин валового содержания тяжелых металлов и водорастворимых сульфатов предлагаются их значения (мг/кг почвы): для Северо-Сибирской низменности – Cu 45, Ni 45, Co 15, Cr 80, S–SO₄ 10; для Норильского промышленного района – Cu 75, Ni 90, Co 40, Cr 170, S–SO₄ 20.
Ключевые слова: деградация почв, оценка загрязнения, тяжелые металлы, сульфаты, фоновое содержание, региональные нормативы

Д. В. Власов, Н. Е. Кошелева, О. В. Кукушкина, Н. С. Касимов Уровни и факторы накопления металлов и металлоидов в придорожных почвах, дорожной пыли и их фракции PM₁₀ в Западном округе Москвы // Почвоведение. 2022. № 5. С. 538-555. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050112>

Впервые для Москвы на примере Западного округа выполнен комплексный геохимический анализ 18-ти элементов (As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Ta, V, W, Zn), определенных масс-спектрометрией и атомно-эмиссионной спектроскопией с индуктивно связанной плазмой в придорожных почвах, дорожной пыли и их фракции физической глины (частиц диаметром <10 мкм, PM₁₀). Приоритетными поллютантами придорожных почв и их фракции PM₁₀ являются W, Sb, Mo, Cu, Cd, Sn, Zn, Bi. При этом концентрация большей части этих элементов в мелкодисперсной фракции PM₁₀ заметно больше. Количество приоритетных поллютантов в дорожной пыли при одинаковых уровнях накопления несколько меньше, чем в почвах. В частицах PM₁₀ почв и дорожной пыли набор приоритетных поллютантов совпадает, но уровни содержания во фракции PM₁₀ пыли примерно в 2 раза выше из-за большей удельной поверхности. В системе почвы – дорожная пыль формируется общий парагенезис W–Sb–Sn–Mo–Zn–Cu, причем в подсистеме, связанной с фракцией PM₁₀, для Cu, Mo и Sb установлены значимые корреляции, что указывает на преобладающую роль тонких частиц в переносе элементов между почвами и пылью. Результаты регрессионного анализа показали, что аккумуляция химических элементов в почвах и их фракции PM₁₀ определяется геохимической позицией, типом дороги, гранулометрическим составом и реакцией среды почв. Ведущими факторами накопления элементов в дорожной пыли и ее фракции PM₁₀ являются объем выбросов автотранспорта и тип дороги, а также физико-химические свойства пыли. Загрязнение мелкодисперсной фракции пыли является очень высоким и очень опасным (суммарный показатель загрязнения Z_c = 113), а аналогичной фракции придорожных почв – высоким, усиливаясь до очень высокого (Z_c = 71) на крупных дорогах из-за воздействия транспорта. Загрязнение почв и дорожной пыли в ЗАО умеренно опасное с незначительными колебаниями на разных типах дорог.

Ключевые слова: гранулометрические фракции, физическая глина, тяжелые металлы, металлоиды, городские почвы, нелинейный регрессионный анализ, Urbic Technosols

Г. М. Кашулина Комплексный мониторинг окружающей среды в районе медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове // Почвоведение. 2022. № 5. С. 556-570.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X22050021>

На основе результатов комплексного мониторинга в ближайших окрестностях одного из наиболее крупных на севере Европы источников выбросов SO₂ и тяжелых металлов проведено сравнение современных уровней загрязнения основных компонентов окружающей среды: атмосферных осадков, почв и семи видов дикорастущих растений. Несмотря на значительное сокращение количества выбросов в течение последних 20 лет, уровень загрязнения окружающей среды в локальной зоне в 2001–2011 гг. оставался экстремально высоким: превышение над фоном концентрации SO₂ в воздухе составляло десятки–сотни раз, концентрации Ni и Cu в снеге – тысячи–десятки тысяч раз, концентрации Ni и Cu в верхнем органогенном горизонте подзолов (Podzols) – сотни–тысячи раз, концентрации Ni и Cu в листьях растений – десятки–сотни раз. При повышенных поступлениях с атмосферными осадками концентрации Zn и Mn в почвах остаются на близком к фону уровне, а растения испытывают острый дефицит этих важных микроэлементов. Это обусловлено прекращением потребления их растениями, удерживающими эти элементы в экосистемах. Ближайшие окрестности медно-никелевого промышленного комплекса представляют тот редкий случай антропогенного воздействия, когда его интенсивность и длительность сопровождается серьезными повреждениями растительности, вплоть до полного исчезновения, что, в свою очередь, оборачивается целым комплексом дополнительных к экстремальному загрязнению негативных экологических факторов: нарушением водного режима экосистем и ландшафтов, изменением микроклимата, деградацией почв с изменением их базовых свойств и морфологии, количественными и качественными изменениями биологического круговорота.

Ключевые слова: подзол, атмосферные осадки, растения, SO₂, тяжелые металлы

Н. Е. Кошелева, Е. М. Никифорова, И. В. Тимофеев Загрязнение тяжелыми металлами и металлоидами и экологического состояния почв, назв г. Северобайкальска // Почвоведение. 2022. № 5. С. 571-585.

<https://doi.org/10.31857/S0032180X22050045>

На основе данных геохимической съемки территории г. Северобайкальска (Республика Бурятия) летом 2018 г. определены содержание и пространственное распределение 15-ти тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в верхнем почвенном слое (0–10 см). Приоритетными загрязняющими ТММ верхнего слоя почв г. Северобайкальска являются Sb, Pb и W. Наиболее загрязненными являются почвы транспортной, промышленной и селитебной усадебной зон. В первых двух интенсивно накапливаются Sb, Pb, Cu, в усадебной застройке – Sb, W, Pb, Cd, Zn. ТММ образуют три ассоциации: V–Cr–Co–Ni ← Mn; Zn–Cd–Pb; Sn–Sb–Mo, поступающие из общих источников и обладающих близким распределением в почвенном покрове города. Аккумуляция ТММ в верхнем слое городских почв определяется содержанием оксидов Fe, Сорг, рН, а также функциональным назначением территории, определяющим источники и уровень техногенного воздействия на почвы. Техногенное воздействие привело к изменению свойств городских почв, которое усилило их способность к закреплению ТММ. Экологическая опасность загрязнения почв ТММ в целом для города отсутствует, но в селитебной усадебной и промышленной зонах треть их площади занимают почвы со слабым и умеренно опасным уровнями загрязнения. Образование нескольких контрастных полиэлементных аномалий в почвах на берегу р. Тыи и вблизи озера Байкал представляет угрозу для их вод из-за возможности поступления токсичных металлов с поверхностным и внутрпочвенным стоком.

Ключевые слова: приоритетные поллютанты, функциональные зоны, факторы аккумуляции, почвенные свойства, полиэлементные аномалии

Терехова В. А. Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор) // Почвоведение. 2022. № 5. С. 586-599. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050094>

Рассмотрены основные направления использования биотестирования для оценки экологического риска загрязнений: а) прогностическое, направленное на прогнозирование возможных эффектов химических

веществ и определение безопасных уровней их применения, б) диагностическое, позволяющее дать оценку реальной угрозы или ущерба в моменте. Проанализированы исторические этапы развития экотоксикологии. Дано представление о разнообразии тест-систем и методах оценки экотоксичности, критериях подбора тест-видов в батарее биотестов. Приводятся примеры применения OMICS-технологий, молекулярных биомаркеров, наноэкотоксикологии и экотоксикогеномики в оценке токсичности почв. В мировой практике для сравнения результатов в стандартных испытаниях в качестве референтного образца рекомендована стандартная почва (Reference/Standard/ Artificial soil) согласно протоколу ISO11268. Акцентируется внимание на актуальности и проблемах оценки почв на основе биотической концепции современного экологического контроля, охарактеризованы достоинства и недостатки некоторых способов и индексов экологического состояния почв, базирующихся на использовании реакций живых систем на загрязнение среды обитания (в частности, так называемый, интегральный показатель биологического состояния почвы – ИПБС, функциональное разнообразие микробиома – ФБР, индекс состояния по методологии ТРИАД). На современном этапе оптимальным способом интеграции результатов биотестирования в общую оценку почв представляется междисциплинарная методология ТРИАД, предусматривающая комплекс химических, биоиндикационных (*in situ*) и токсикологических (*ex situ*) исследований. Ключевые слова: экотоксичность, биодиагностика, биотестирование, биосенсоры, батарея биотестов, химическое загрязнение, биодоступность, оценка почв, экологическое качество, интегральные индексы, методология ТРИАД

Д. Л. Пинский, Т. М. Минкина, Т. В. Бауэрб Д. Г. Невидомская, В. А. Шуваева, С. С. Манджиева, В. С. Цицуашвили, М. В. Бурачевская, В. А. Чаплыгин, А. В. Барахов, А. А. Велигжанин, Р. Д. Светогоров, Е. В. Храмов, А. Д. Иовчева Идентификация соединений тяжелых металлов в техногенно-преобразованных почвах методами последовательного фракционирования, XAFS-спектроскопии и XRD порошковой дифракции // Почвоведение. 2022. № 5. С. 600-514. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050070>

Изучена трансформация техногенных соединений Cu и Zn в хемоземах (Spolic Technosols) с высокими и очень высокими концентрациями металлов, сформированных на месте природного отстойника промышленных предприятий в пойме р. Северский Донец – главного притока р. Дон (Ростовская область, Россия). Проведено сравнение хемоземов с незагрязненной луговой почвой, расположенной за пределами импактной зоны. Состояние Cu и Zn оценено с использованием трех схем последовательных экстракций: Миллера, Тессье и BCR, а также синхротронных методов рентгеновской порошковой дифракции (XRD) и структурного анализа спектров (XAFS). Показано, что распределение металлов в почве в значительной степени связано с их свойствами: электроотрицательностью, гидролизуемостью и способностью к образованию π -связи. Установлено, что Cu концентрируется в основном в остаточной (>42%) и связанной с органическим веществом (<27%) фракциях. Подвижность Zn в исследуемых почвах больше, чем Cu. Основная его часть (<56%) находится в остаточной и связанной с Fe и Mn оксидами фракциях (<48%), особенно с кристаллическими формами Fe(III). Впервые проведено комбинированное использование трехступенчатой схемы BCR в сочетании с методами XAFS и XRD. Большая часть пиков, присутствующих на дифрактограммах образцов почвы после первой и второй стадий экстрагирования, соответствует аутигенным серосодержащим минералам: вюртциту (ZnS с гексагональной структурой), сфалериту (ZnS с кубической структурой), ковеллину (CuS), борниту (Cu₅FeS₄). Образец почвы после извлечения окисляемой фракции наиболее насыщен сульфидами, в то время как в образце почвы после извлечения восстанавливаемой фракции доминируют филлосиликаты. Результаты анализа спектроскопии рентгеновского поглощения выявили для высокозагрязненных почв молекулярно-структурные изменения соединений Zn и Cu, показывающие трансформацию металла в различной природной обстановке, что важно для оценки протекторной функции почв.

Ключевые слова: формы металлов в почвах, последовательные селективные экстракции, молекулярно-структурные изменения соединений Zn и Cu, методы синхротронного рентгеновского излучения

Копчик Г. Н., Копчик С. В. Оценка современных рисков избыточного накопления тяжелых металлов в почвах на основе концепции критических нагрузок (обзор) // Почвоведение. 2022. № 5. С. 615-630. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050033>

На международном уровне для оценки рисков избыточного поступления загрязняющих веществ в экосистемы активно используется концепция критических нагрузок, разработанная в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния под эгидой Европейской экономической комиссии ООН. В обзоре рассмотрены основные принципы концепции критических нагрузок и методы ее применения для оценки текущих рисков избыточного накопления тяжелых металлов (ТМ) в почвах как компонентах наземных экосистем с точки зрения экотоксикологического воздействия (на растения, почвенные беспозвоночные и микроорганизмы). В рамках концепции критические концентрации Cd, Pb, Cu и Zn для почв впервые оцениваются с помощью функций критических концентраций, учитывающих свойства почв (прежде всего, кислотность, содержание органического вещества и илистой фракции). Основное внимание уделено обоснованию и развитию моделей оценки критических концентраций и функций преобразования, связывающих концентрации соединений ТМ в почвах и почвенных растворах. Современные экологические риски избыточного накопления ТМ оцениваются путем сравнения с их критическими концентрациями. Текущие проблемы и дальнейшие перспективы анализа современных экологических рисков на основе концепции критических нагрузок включают снижение неопределенности оценок, совместное воздействие разных металлов при многокомпонентном загрязнении, полевую проверку процессов и результатов моделирования, влияние изменений климата и землепользования.

Ключевые слова: экологические риски, функции критических концентраций, биодоступность, экотоксичность, модели биотического лиганда

Яковлев А. С., Евдокимова М. В. Подходы к нормированию загрязнения почв в России и зарубежных странах // Почвоведение. 2022. № 5. С. 631-641. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050136>

Изложены современные подходы к нормированию качества почв в России и зарубежных странах. Выявлено сходство структуры государственного управления и охраны окружающей среды в России, США, Европе и Канаде, что отразилось в системе законодательных и подзаконных актов, разделенной на сферы: покомпонентная охрана окружающей среды; разрешительная деятельность и контроль загрязнения окружающей среды; управление недропользованием; регулирование обращением с пестицидами. Рассмотрены вопросы оценки рисков, возмещения и ликвидации экологического ущерба, нанесенного компонентам окружающей среды, а также разработки нормативов качества почв. В США, Европе и Канаде нормативно-методические документы, регламентирующие процедуру выявления экологических проблем, оценки их опасности и разработки мер по их ликвидации, разрабатываются в рамках концепции оценки рисков. Последняя не получила своего развития в отечественном законодательстве и не подкреплена официальными методическими документами, представленными в подзаконных актах. Действующий в Российской Федерации порядок компенсации вреда окружающей среде, причиненного нарушением законодательства в области охраны окружающей среды, подразумевает определение размера этого вреда, исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды и не связан с процедурой оценки рисков. Нормативы качества окружающей среды в России и зарубежных странах устанавливаются на предельно-допустимом уровне и определяются на основе анализа зависимости биологического отклика от количественной меры воздействия стрессора (экспозиции).

Ключевые слова: нормативы качества почв, оценка рисков, экологический ущерб

А.А. Ветрова, С.Я. Трофимов, Р.Р. Кинжаев, Н.А. Аветов, А.В. Арзамазова, И.Ф. Пунтус, О.И. Сазонова, С.Л. Соколов, Р.А. Стрелецкий, К.В. Петриков, Делеган Я.А., В.А. Самойленко, А.Е. Филонов Разработка микробного консорциума для биоремедиации нефтезагрязненных почв Среднего Приобья // Почвоведение. 2022. № 5. С. 642-654. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050100>

Из нефтезагрязненных образцов почв Среднего Приобья выделены микроорганизмы – деструкторы углеводов, идентифицированные как представители родов *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Kocuria*, *Raoultella* и *Candida*. Проведен их скрининг на способность к деградации различных классов углеводов в широком температурном диапазоне (6–37°C), в кислых средах (до pH 4) и при повышенной засоленности (до 3%), на способность к продукции биоПАВ и на наличие генов, кодирующих ключевые ферменты деградации углеводов. Составлен микробный консорциум в качестве основы биопрепарата для биоремедиации нефтезагрязненных почв Среднего Приобья, включающий штаммы *Candida fluvialis* 24p-51, *Rhodococcus erythropolis* 24-44, *Acinetobacter calcoaceticus* 7-43 и *Pseudomonas extremaustralis* 7-31. Для данных микроорганизмов были подобраны режимы культивирования и лиофилизации биомассы. В лабораторных модельных системах оценена эффективность деградации углеводов нефти разработанным микробным консорциумом. Степень деградации нефти микробным консорциумом в жидкой минеральной среде составила 56%, в модельном грунте – 22% за 10 сут при 24°C.

Ключевые слова: микроорганизмы-нефтедеструкторы, углеводородокисляющая активность, биопрепарат

Marcin Pietrzykowski, Bartłomiej Woś, Marcin Chodak, Katarzyna Sroka, and Marek Pająk "Use of Alders for the Phytostabilization of a Combustion Waste Disposal Site," *Eurasian Soil Science*, 2022. № 5.

<https://doi.org/10.1134/S1064229322050064>

The adverse effects of combustion waste disposal sites could be limited by their biological stabilization. This work presents a review of the literature on the utility of species of alder (black, grey and green) in the biological stabilization, and potentially phytoremediation, of combustion waste disposal sites. All three alder species studied are characterized by high survival rates and good growth parameters, with black alder displaying better growth parameters compared to grey alder. In general, the three alder species have been found to have similar and positive effects on the physicochemical properties of combustion waste, with the observed differences being relatively small. In combustion waste disposal site located in Central Poland, litter pH was slightly acidic (pH in KCl 6.3) to neutral (pH in KCl 6.7), which is favourable for strongly alkaline combustion wastes. Accumulation of litter layer ranged from 2.9 to 3.6 Mg ha⁻¹, and grey alder litter was characterized by the highest content of nutrients (N-P-K). Organic C content in the 0–5 cm mineral layer (A) increased to 38.06 and 47.80 g kg⁻¹, respectively for green and black alder. However, the selection of a single tree species for the reclamation of combustion waste needs to be based not only its phytoameliorative function but also its growth and biomass parameters. Given those parameters, black alder is strongly recommended. This species has a similar effect on the properties of combustion waste as grey alder, but it exhibits better growth parameters. Green alder, being a shrub with lower biomass and litter fall than the other two species, exerts weaker ameliorative and soil development effects, but may be used on slopes to counteract erosion processes.

Keywords: fly ash, Technosols, reclamation, N-fixing species, alder

F. C. Nunes, L. de J. Alves, M. N. V. Prasad, C. C. N. de Carvalho, and E. C. Nolasco "Phytoremediation Strategies for Rehabilitation of Soils Affected by Red Mud: the Mariana Tailing Dam Collapse (Minas Gerais, Brazil)," *Eurasian Soil Science*, 2022. № 5. <https://doi.org/10.1134/S1064229322050052>

Brazil has a large number of degraded areas due to iron mining and other elements. In 2015, an iron mining tailings dam belonging to “Samarco Mineração SA”, located in the municipality of Mariana, state of Minas Gerais, collapsed, causing the greatest environmental disaster in the country’s history, due to the spill of 62 million m³ of red mud. The red mud was deposited on slopes, foothills of mountains, intermountain depressions and floodplains, contaminating soils and waters with amines, amides and sodium from the flotation of iron mining residues and causing the formation of surface crusts on the land and hard-setting formation. Different researches were carried out to evaluate and recover degraded soils—Leptosols, Cambisols, Ferralsols, Gleysols and Fluvisols, however the problems are still present and phytoremediation techniques were practically not applied. Phytoremediation is the use of plants to extract, filter, degrade, stabilize, or otherwise reduce mobility,

bioavailability, or concentrations of pollutants and stands out as an example of a low cost, minimally invasive approach for the remediation of large-scale contaminated areas. In view of the degraded areas due to the collapse of the “Samarco Mineração SA” tailings dam, this article suggests phytoremediation strategies to rehabilitate the soils in different geomorphological units and the challenges to be faced in the future, pointing out research and the need for the involvement of professionals from different areas of knowledge.

Keywords: environmental degradation, geomorphological units, amines, sodium, restoration

Autumn Watkinson, Myra Juckers, Liana D’Andrea, Peter Beckett, and Graeme Spiers "Ecosystem Recovery of the Sudbury Technogenic Barrens 30 Years Post-Restoration," *Eurasian Soil Science*, 2022. № 5.

<https://doi.org/10.1134/S106422932205012X>

Sudbury, Ontario, Canada experienced severe environmental degradation from intensive logging, mining, and smelting activities. Acidification and erosion of soils, as well as heavy metal deposition led to widespread vegetation mortality and the creation of 20000 ha of barren and 80000 ha of semi-barren land within the Sudbury region. Restoration processes, consisting of limestone application, fertilization, seeding, and tree planting, was initiated in 1978 and continues to present day. Although initial assessments made immediately following restoration predicted a stable, self-sustaining vegetation community would develop, no formal monitoring protocol was initiated. In this study, we describe the state of four restored sites (3 barren, 1 semi-barren), and their naturally recovering (untreated) analogues, within the Sudbury technogenic barrens 25 to 30 years post-restoration. At each site, two belt transects were established in the restored and untreated areas within which soil pH, tree height and diameter, and ground cover of vegetation identified to species were assessed. Soil pits were excavated to examine pedological development. Soils were Dystric Brunisols in all sites. In restored areas, soil pH and humus layer thickness were generally greater than in areas left to recover naturally. Elevated pH through the soil profile at treated sites indicate limestone application effectively reduced acidity and was sustained up to 30 years post-application. In untreated areas, moss and lichen were abundant, and although vascular plant cover was greater in restored areas, vegetation communities are still significantly different from the reference site. Adequate cover of native understory species was not obtained in any of the treated areas. Results indicate that aerial application of limestone, fertilizer, and seed is less effective than ground application, especially in areas with a high proportion of exposed bedrock. Active restoration has been beneficial to the recovery of the Sudbury technogenic barrens. Continued monitoring will be essential to facilitate the development of a self-sustaining vegetation community.

Keywords: coniferous forest, heavy metal, limestone, mining, reclamation, SO₂