

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2021

Том 4 . Выпуск 1

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77 - 72325 — сетевое издание от 14 февраля 2018 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес издателя и редакции: 630090, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 8/2, тел.: +7(383) 3639035, ИПА СО РАН, e-mail: redactor@soils-journal.ru, сайт: <https://www.soils-journal.ru>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Якименко Владимир Николаевич - доктор биологических наук, зав.лабораторией агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Заместители главного редактора

Дергачева Мария Ивановна - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Соколов Денис Александрович - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Члены редколлегии

Андроханов Владимир Алексеевич – доктор биологических наук, ВРИО директора ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Абакумов Евгений Васильевич - профессор РАН, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет

Бойко Василий Сергеевич – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заместитель директора по научной работе ФГБНУ Омский аграрный научный центр (Омск, Россия)

Будажанов Лубсан-Зонды Владимирович – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор ФГБНУ Бурятский НИИ сельского хозяйства (Улан-Удэ, Россия)

Гамзиков Геннадий Павлович – академик РАН, доктор биологических наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

Гольева Александра Амуриевна – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт географии РАН (Москва, Россия)

Кулижский Сергей Павлович – доктор биологических наук, профессор, проректор по социальным вопросам ФГБОУ ВО Национальный Исследовательский Томский государственный университет (Томск, Россия)

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук, профессор, директор ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия)

Рожков Вячеслав Александрович – член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН Почвенный институт им.В.В. Докучаева (Москва, Россия)

Седов Сергей Николаевич – кандидат биологических наук, профессор Института геологии Национального автономного университета Мексики (Мехико, Мексика)

Сиромля Татьяна Ивановна – доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Сысо Александр Иванович – доктор биологических наук, заместитель директора по науке ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Убугунов Леонид Лазаревич – доктор биологических наук, профессор, директор ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Чевычелов Александр Павлович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией генезиса почв и радиоэкологии ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск, Россия)

Танасиенко Анатолий Алексеевич – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Шарков Иван Николаевич – доктор биологических наук, доцент, руководитель Сибирского НИИ земледелия и химизации СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Шпедт Александр Артурович - доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ВРИО директора ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Якутин Михаил Владимирович – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Содержание

Тихомирова Н.А., Нечаева Т.В., Якименко В.Н.
От редколлегии e144

Почвы и круговорот химических элементов

Соколов Д.А., Усольцев Н.А., Госсен И.Н., Морозов С.В.
Мониторинг пылевых выпадений в зоне влияния
технологической автодороги Горловского антрацитового
разреза (Новосибирская область) e133

Деградация и рекультивация почв

**Фища Ф.С., Будина Е.В., Жеребцов С.И., Малышенко Н.В.,
Клековкин С.Ю., Соколов Д.А.**
Сравнительная оценка перспектив использования гуминовых веществ,
полученных из бурого угля, в целях рекультивации техногенных
ландшафтов e135

Методология почвенно-агрохимических исследований

Гаврилов Д.А.
Использование R для классификации гранулометрических
классов почв и построения диаграммы Ферре e136

Обзоры и рецензии

Наумова Н.Б., Руко Е.Н., Савенков О.А., Плешакова В.И.
Микробиом почвы и сельскохозяйственных культур при внесении
компоста куриного помета e141

Юбилеи и памятные даты

Дергачева М.И.
Роль В.В. Докучаева в становлении экологии почв как науки
биосферного класса e140



ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Представляя читателям новый номер журнала, напоминаем, что 01 марта 2021 года исполнилось 175 лет со дня рождения Василия Васильевича Докучаева – ученого, внесшего огромный вклад в становление почвоведения и развитие естественных наук. В статье М.И. Дергачевой детально описана роль В.В. Докучаева в становлении экологии почв как науки биосферного класса. Мы настоятельно рекомендуем ознакомиться со статьей всем интересующимся наукой о почвах и их экологией.

Спрос на энергию в крупных отраслях промышленности всегда рос и будет расти. Удовлетворение этого спроса невозможно без угля – его добычи, транспортировки, переработки, использования и утилизации образующихся отходов. Каждый этап ставит не только собственно контекстно-технологические, но и серьезные и разнообразные экологические проблемы. Результатам изучения одного из аспектов таких проблем, а именно пылевых выпадений в зоне влияния технологической автодороги Горловского антрацитового разреза в Новосибирской области и их мониторингу, посвящена статья Д.А. Соколова с соавторами. Статья представляет интерес не только для научной аудитории, но и в целом для жителей сибирского региона.

Бурые угли, в связи с особенностями структуры и физико-химических свойств, в том числе наличием биологически активных гуминовых веществ, являются ценным сырьём для переработки в продукцию почвенно-экологического и сельскохозяйственного назначения. В статье Фиши Ф.С. с соавторами проведена сравнительная оценка перспектив использования гуминовых веществ, полученных из бурого угля, в целях рекультивации техногенных ландшафтов. Статья познавательна не только для специалистов, но и для широкого круга интересующихся экологическими вопросами читателей.

В современной науке трудно проанализировать данные и интерпретировать полученные результаты без расчетной, графической и статистической обработки, адекватной целям и задачам исследования, а также особенностям объекта исследования. Существует много программ для такой обработки – как коммерческих гигантских пакетов, так и бесплатных с открытым кодом. Как всегда, в обоих случаях есть свои преимущества и недостатки. В последние годы мощный бесплатный пакет статистических программ R стал очень популярным, так как с его помощью новые статистические методы быстро становятся доступными, а исходный код для каждой функции находится в свободном доступе и его может посмотреть любой желающий (справедливости ради заметим, что оба этих аспекта имеют также и отрицательные стороны). Широко используют этот пакет и в почвенных исследованиях, особенно за рубежом, а в отечественных работах – значительно реже. Приведем, однако, один из небольших, но важных примеров полезного применения одной из функций пакета. Как известно читателям журнала, существует расхождение во взглядах различных научных школ на выделение диапазонов размеров почвенных частиц и гранулометрических классов почв, что создает определенную трудность в понимании классификаций почв по гранулометрическому составу, применяемых в разных странах. Статья Д.А. Гаврилова пошагово проводит читателя, занимающегося гранулометрическим анализом почвы, по алгоритму использования программы пакета R для классификации гранулометрических классов почв и построения диаграммы Ферре.

В настоящее время для роста производства продукции птицеводства в беспрецедентных масштабах применяют антибиотики (Manikandan et al., 2020). Казалось бы, это далеко от почв во взаимосвязи с окружающей средой как основной тематики нашего журнала. Однако с ростом товарной продукции птицеводства растут и отходы, в том числе помет; его, как правило, компостируют, и потом вносят на поля в качестве удобрения. Так как в компосте могут содержаться остаточные количества антибиотиков и гены антибиотикорезистентности, они неизбежно попадут в другие биотические и абиотические компоненты почвы. Таким образом, связь очевидна, и включение в данный номер написанного Н.Б. Наумовой с соавторами обзора публикаций, посвященных изучению микробиома почвы и сельскохозяйственных культур при внесении компоста птичьего помета, представляется логичным и важным. Обзор, как нам видится, представляет интерес не только для почвоведов и экологов, но и для широкого круга потребителей продукции агропроизводства.

Редакция журнала

Тихомирова Н.А., Т.В. Нечаева, В.Н. Якименко

ЛИТЕРАТУРА

Manikandan M., Chun S., Kazibwe Z., Gopal J., Singh U.B., Oh J.W. Phenomenal Bombardment of Antibiotic in Poultry: Contemplating the Environmental Repercussions // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020. Vol.17(14). P.5053. DOI: [10.3390/ijerph17145053](https://doi.org/10.3390/ijerph17145053)



МОНИТОРИНГ ПЫЛЕВЫХ ВЫПАДЕНИЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОДОРОГИ ГОРЛОВСКОГО АНТРАЦИТОВОГО РАЗРЕЗА (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2021 Д. А. Соколов ¹, Н. В. Усольцев¹, И. Н. Госсен ¹ С. В. Морозов ²

Адрес: ¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru

²ФГБУН Новосибирский институт органической химии СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 9, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: morozov@nioch.nsc.ru

Цель исследования: Мониторинг и оценка состава пылевых выпадений в зоне влияния технологической автодороги Горловского антрацитового разреза.

Место и время проведения. Исследования проводили в Искитимском районе Новосибирской области (54.58° с.ш. и 83.57° в.д.) в 2018–2020 годах.

Методология. Содержание пыли в снеге устанавливали весовым методом после фильтрования через мембрану Владипор типа МФАС-ОС-1 со средним размером пор 0.22 мкм. Микроморфологические наблюдения проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа (Hitachi TM-3000 с EDS приставкой для элементного анализа поверхности Bruker Quantax 70). Содержание углерода, соотношение C/H и C/N оценивали методом сухого сжигания при помощи CHN-анализатора (Perkin Elmer 2400 Series II). Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) определяли методом газовой хроматографии (хроматограф Agilent Technologies AT 6890N с масс-селективным детектором AT 5975N и автосамплером AT 7683B).

Основные результаты. Представлены результаты трехлетних исследований состава снега в районе технологической автодороги в северной части Горловского антрацитового бассейна. Показано, что влияние автодорог, по которым транспортируют уголь, распространяется более чем на 2000 м во всех направлениях; снежный покров прилегающих к автотрассе территорий накапливает от 1,4 до 1131,6 г/м² пылевых выпадений.

Состав пыли как прилегающих, так и удаленных от автотрассы участков представлен преимущественно углистыми частицами. Содержание углерода во взвешенной части проб снега составляет от 26,5 до 64,1%. При этом по мере удаления от дороги содержание углерода в пыли увеличивается.

Пылевые выпадения, накопленные в снеговом покрове, содержат значительное количество ПАУ, в том числе и канцерогенных. В пробах снега, отобранных на расстоянии 25–2000 м от автодороги, содержание канцерогенных ПАУ в 9–13000 раз больше, чем на контрольном (фоновом) участке.

Заключение. За годы исследования отмечено снижение пылевой нагрузки на прилегающие территории, несмотря на кратное увеличение объемов транспортируемого по автодороге угля, что связано с проведением мероприятий по пылеподавлению. Выявлено, что минимизация распространения угольной пыли обеспечивается при: а) создании широких многоярусных лесополос вдоль технологических дорог; б) обязательном укрывании кузовов углевозов защитными тентами; в) снижении скоростного режима транспорта; г) учете розы ветров при проектировании размещения новых дорог и отвалов отходов угледобычи.

Ключевые слова: угольная пыль; загрязнение атмосферы; снеговой покров; полициклические ароматические углеводороды; открытая добыча угля; канцерогены

Цитирование: Соколов Д.А., Усольцев Н.В., Госсен И.Н., Морозов С.В. Мониторинг пылевых выпадений в зоне влияния технологической автодороги Горловского антрацитового разреза (Новосибирская область) // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 1. е133.: doi: [10.31251/pos.v4i1.133](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.133)

ВВЕДЕНИЕ

Экологическим проблемам, связанным с влиянием открытых угольных разработок на окружающие территории, во всем мире уделяют большое внимание (Feng et al., 2019). Известны работы, в которых отмечается, что увеличение площадей нарушенных угледобычей территорий приводит к развитию эрозионных и солюфикационных процессов (Солнцева и др., 1992; Rocha-Nicoleite et al., 2017), ухудшению состояния грунтовых и поверхностных вод (Wei et al., 2011; Mishra et al., 2012), возникновению наводнений (Negley et al., 2006; Eisenbees et al., 2007; Townsend

et al., 2009). Кроме того, обогащенные углистым материалом отходы подвержены процессам самовозгорания (Querol et al., 2011), что негативно сказывается на качестве атмосферного воздуха (Claxton, 2014). Однако наиболее интенсивное воздействие угольная промышленность оказывает на почвенный покров. Во-первых, потому, что преобладающая сегодня в угольной отрасли открытая разработка приводит к уничтожению почвенного покрова территорий, отчуждаемых под размещение отходов добычи (Соколов и др., 2012; Госсен и др., 2016). Во-вторых, почвы окружающих угольные разрезы территорий испытывают влияние аэрогенного массопереноса, который в силу низкой плотности частиц угольной пыли не удается локализовать в пределах санитарно-защитных зон предприятий. Последний аспект, на наш взгляд, заслуживает особого внимания, поскольку в отличие от работ, посвященных восстановлению почвенного покрова на отвалах отходов добычи угля, является мало освещенным в научной литературе.

В этой связи перспективным объектом исследований является снежный покров, поскольку снег представляет естественный накопитель техногенных выбросов. Результаты изучения снегового покрова особенно представительны, поскольку минимизируют вариации (флуктуации направления ветра, непостоянство выбросов) и дают более точную средневзвешенную величину загрязнения, усредненную естественным путем за продолжительный период времени, т. е. с момента выпадения снега до момента пробоотбора (Ермолов, Смоленцев, 2020). В основном такие наблюдения ведут вблизи источников загрязнения (Андреева и др., 2001; Рапута и др., 2010; 2015). Проведенные нами ранее исследования показали, что существенное влияние на загрязнение снежного покрова оказывают не столько сами карьеры и отвалы, сколько дороги, по которым транспортируют добываемый на месторождениях уголь (Девятова и др., 2019). Основная часть пылевых выпадений приходится на угольные частицы. Однако состав и свойства пыли, а также динамика пыленакопления, обусловленная увеличением объемов добычи угля, остаются недостаточно исследованными. Поэтому целью исследований стали мониторинг и оценка состава пылевых выпадений в зоне влияния технологической автодороги Горловского антрацитового разреза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на участке автодороги между Кольванским и Горловским угольными разрезами (N 54.58° с.ш. и E 83.57° в.д.), входящими в Группу компаний «Сибантрацит». Помимо транспортировки угля автодорога используется и для других целей, поскольку связывает села Харино и Горлово с п.г.т. Линёво Искитимского района Новосибирской области. Выбранный объект является показательным потому что: во-первых, дорога здесь перпендикулярно ориентирована по отношению к линии господствующих ветров; во-вторых, на ней наряду с открытыми участками присутствуют лесопосадки, представленные тополевыми лесополосами.

Для оценки воздействия технологической автодороги на прилегающие территории были проложены три линейные трансекты (рис. 1). Первые две прокладывали на открытом участке, с наветренной стороны, в юго-западном направлении (ЮЗ), и подветренной стороны дороги, в северо-восточном (СВ) направлении. Третья трансекта проложена в северо-восточном направлении; данную трансекту в 3 м от дороги пересекает лесополоса шириной 10 м (СВл). Отбор проб снега проводили ежегодно в течении трёх лет (2018–2020 гг.) в период максимальных снегозапасов (начало марта). Пробы отбирали в 25, 50, 100, 250, 500, 1000, а также (в 2019 году) в 2000 м от дороги. На трансекте Ю-З направления, по причине проведения работ по снегозадержанию, не удалось определить запасы снега в 25 м от дороги, а в 2019 и 2020 годах в 50 м. В этих точках образцы снега отбирали только для оценки состава пылевых выпадений. На трансекте СВл направления, из-за наличия березовых колков, максимальное расстояние от дороги, на котором отбирали пробы, составляло 500 м. В первый год исследования фоновый участок был выбран в 2500 м к югу от автодороги на открытой местности, защищенной лесным массивом шириной более, чем 500 м. Микроморфологический анализ образцов пыли с этого участка выявил наличие углистых частиц (Девятова и др., 2019). Поэтому в 2019 и 2020 годах в качестве контрольного был выбран участок, расположенный в 35 км от исследуемой автодороги. Отбор проб осуществлялся в трехкратной повторности при помощи весового снегомера ВС-43, с последующим определением плотности и запасов влаги в снежном покрове. При отборе проводили замеры мощности снежного покрова и GPS-привязка.



Рисунок 1. Схема отбора проб снега.

Пробы снега растапливали в лаборатории и фильтровали с помощью прибора ПВФ-47/6 НБ (ПП) (Россия). При фильтровании использовали мембрана Владипор типа МФАС-ОС-1 (Россия) со средним размером пор 0,22 мкм. Мембрана по фактическим показателям соответствует требованиям ТУ 2265-01143153636–2015 для МФАС-ОС-1. Фильтры с твёрдой фракцией поллютантов высушивали, после чего определяли их масса с точностью до 0,0001 г. СНН-анализ взвешенных частиц осуществляли методом сухого сжигания с использованием анализатора 2400 Series II (Perkin Elmer, США).

Микроморфологические наблюдения проводили в Национальном исследовательском Томском государственном университете с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000 с EDS приставкой для элементного анализа поверхности Bruker Quantax 70. Пробы пылевых частиц с фильтра переносили на проводящий скотч, закрепленный на металлической площадке, которую впоследствии помещали в микроскоп. Данная модель микроскопа, благодаря наличию режима низкого вакуума, позволяет изучать образцы при увеличении до 2000 – 5000 раз без использования металлического напыления, что обеспечивает получение более точных значений элементного состава (Соколов и др., 2014).

Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) определяли при помощи газового хроматографа Agilent Technologies AT 6890N с масс-селективным детектором AT 5975N и автосамплером AT 7683B. В пробах талого снега определяли 19 индивидуальных ПАУ, входящих в список Европейского союза и Агентства по охране окружающей среды США (Lawrence et al., 2015), в том числе: нафталин (NAP), аценафтилен (ANL), аценафтен (ANA), флуорен (FLU), фенантрен (PHE), антрацен (ANT), флуорантен (FLT), пирен (PYR), бенз(а)антрацен (BaA), хризен (CHR), бенз(б)флуорантен (BbF), бенз(к)флуорантен (BkF), бенз(ј)флуорантен (BjF), бенз(е)пирен (BeP), бенз(а)пирен (BaP), перилен (PRL), индено(1,2,3-сд)пирен (IPY), дибенз(аh)антрацен (DBA), бензо(gh,i)перилен (BPL). Для количественного определения использовали стандартный образец смеси ПАУ (АТ № 8500-6035), в качестве суррогатных стандартов (свидетель) применяли 9,10-ди(тридецилметил)фенантрен и 4,4'-дибромбифенил; погрешность определения не превышала 20 %, предел обнаружения 0.2 нг/г. Пробоподготовка и все измерения содержания и состава ПАУ проводили в двух повторностях в лаборатории аккредитованного Испытательного аналитического центра Новосибирского института органической химии СО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что содержание пыли в снеге участков, прилегающих к автодороге, варьировало в широких пределах (табл. 1). На всех трех транsekтах отмечали снижение концентрации пыли по мере удаления от трассы. При этом разница между массой пыли в 25 и 1000 м от дороги достигала: на транsekтах северо-восточного (СВ и СВл) направления – 100 и более раз, на транsekте юго-западного (ЮЗ) направления – 10 и более раз.

Таблица 1

Содержание взвешенных веществ в снеге на участках прилегающих к дороге, г/м²

Год	Расстояние от автодороги, м	Направление			Фон
		ЮЗ	СВ	СВл	
2018	25	-	309,5±82,6	552,5±90,3	1,6±0.3*
	50	46,9±6,4	170,5±31,4	207,9±21,6	
	100	34,5±2,4	110,4±5,5	94,0±11,6	
	250	8,7±2,2	64,1±13,6	16,7±4,2	
	500	3,8±0,3	16,4±2,5	-	
	1000	-	22,4±4,0	-	
2019	25	-	553,6±87,3	854,3±69,9	0,8±0.3**
	50	-	238,5±11,6	270,1±19,5	
	100	24,6±0,5	118,0±3,9	122,3±18,9	
	250	4,2±0,2	37,9±12,1	22,6±6,5	
	500	5,4±0,8	12,8±2,1	11,2±0,7	
	1000	4,2±1,6	5,4±2,0	-	
2020	25	-	373,6±127,4	1131,6±409,4	0,8±0.3**
	50	-	272,6±21,2	-	
	100	5,8±3,1	100,2±3,6	-	
	250	0,3±0,3	18,7±3,3	-	
	500	0,8±0,6	3,6±0,4	-	
	1000	1,4±0,1	2,4±0,4	-	

Примечание.

* 2018 году фоновый участок выбирался в 2.5 км от дороги.

** 2019 и 2020 годы фоновый участок выбрали в 35 км от дороги.

Максимальное количество взвеси зафиксировано на точках трансект СВ и СВл. Важно отметить, что вместе со снегом на поверхность почв попадает до 1 килограмма пыли на метр квадратный (рис. 2). Это особенно выражено вблизи лесополосы, где масса пыли в снежных пробах была в 1,5-3,0 раза больше, чем в пробах, отобранных на открытых участках (табл. 1). Исследование пространственного распределения содержания пыли в снеге также показало, что шлейфы пылевых нагрузок имеют ориентацию на северо-восток и юго-запад от автодороги, что в целом согласуется с характером ветрового режима; как отмечено ранее, преобладающими ветрами в зимнее время являются юго-западные. В связи с этим содержание пыли на равноудаленных точках СВ и ЮЗ трансект различалось в 2–8 и более раз.

Изменялась также и концентрация пыли в снеге в отдельные годы исследования. На наш взгляд, это связано с несколькими факторами, по-разному сказавшимися на запыленности снежного покрова наблюдаемых трансект и точек. Во-первых, в период мониторинга предприятия Группы компаний «Сибантрацит» существенно увеличили объемы добычи угля на месторождениях северного крыла Горловского бассейна. Так, если в первый год проведения исследований (начало 2018 года) объемы добычи угля составляли 7,4 млн. тонн, то на конец 2019 года они увеличились до 14,1 млн. тонн. Во-вторых, в эти же годы на предприятиях была разработана и начала внедряться экологическая программа, направленная на улучшение качества атмосферного воздуха. Результатом действия этой программы стало то, что при транспортировке угля все углевозы стали укрывать защитными пологими. Кроме того, внедрение в бортовые компьютеры перевозящих уголь автомобилей систем круиз-контроля позволило снизить среднюю скорость их движения до 40–50 км/ч. Результатом проведенных мероприятий можно считать существенное снижение содержания пыли в снеге на всей трансекте ЮЗ, а также СВ и СВл направлений, отобранном на расстоянии более чем в 100 м от дороги (табл. 1). Еще одним результатом работ по пылеподавлению, вместе с увеличением объемов транспортируемого угля, можно считать рост содержания пыли в снеге на участках СВ и СВл направлений вблизи от дороги (25 и 50 м). Однако при этом важно учитывать то, что в 2019 и 2020 годах вместе с воздушным переносом на загрязнение снежного покрова оказали влияние мероприятия по очистке дорог от снега. Сформированная с подветренной стороны автотрассы линия снежных буртов не только не задерживала перенос пыли, но и в оттепели являлась дополнительным источником загрязнения.



Рисунок 2. Пылевое загрязнение снегового покрова в окрестностях Горловского антрацитового месторождения: А – придорожная лесополоса; Б – автодорога; В – поле, прилегающее к автотрассе с северо-востока; Г – вертикальный срез снеговой толщи в 25 м от лесополосы.

Снеговые пробы, взятые в точках отбора, имели значительное содержание органических компонентов. Судя по элементному составу поверхности органических частиц, спецификой пылевых выпадений исследуемых объектов является высокое содержание углистых включений, которое сохраняется на значительном удалении от дороги (рис. 3).

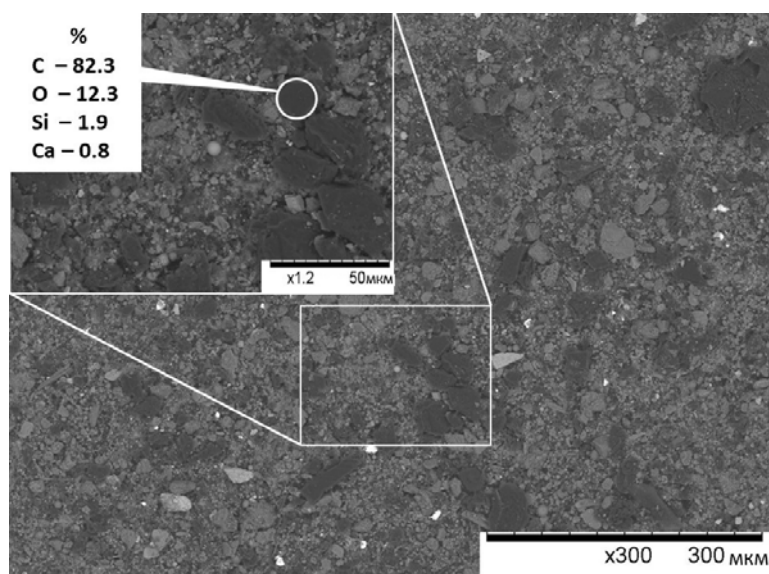


Рисунок 3. Микрофотографии частиц пыли из проб снега, отобранных в 1000 м к северо-востоку от дороги.

СН анализ взвешенной части проб снега и дорожной пыли показал, что содержание углерода варьировало в пределах от 26,5 до 64,1% (табл. 2). Высокие значения соотношений С/Н и С/Н также свидетельствуют об литогенной (угольной) природе органического вещества анализируемых проб. Сравнение описываемых показателей проб 2018 и 2019 года позволяет отметить снижение концентрации углерода во взвешенной части проб снега в среднем в 1,2-1,3 раза. Исключением являются пробы, отобранные на трансекте ЮЗ направления, где содержание углерода в пробах осталось на уровне образцов пыли, взятых с дороги. Однако и здесь, и в пробах других трансект уменьшение величин соотношений С/Н и С/Н свидетельствуют о снижении доли угля в органическом веществе взвеси. В среднем соотношение С/Н уменьшилось в 1,5 раза, С/Н в 1,2 раза.

Таблица 2

Средние значения содержания углерода и соотношений С/Н и С/Н во взвешенной части проб снега и пыли с дороги

Трансекта	С, %	С/Н	С/Н
Пыль с дороги	49,2	64,8	84,1
	45,6-50,8	60,4-67,1	60,0-89,2
2018 год			
ЮЗ	45,5	43,8	61,1
	33,8-52,2	41,1-46,6	55,0-66,8
СВ	50,4	56,7	78,0
	45,1-56,9	50,9-59,5	70,6-83,7
СВл	46,5	71,1	80,6
	37,7-64,1	65,5-73,9	73,5-85,4
2019 год			
ЮЗ	49,6	34,1	50,6
	42,7-58,4	23,1-48,1	38,7-63,7
СВ	38,3	40,5	62,4
	26,5-52,9	18,4-67,4	37,1-80,4
СВл	38,7	42,6	70,8
	33,3-45,4	24,2-55,5	43,9-91,7

Как отмечено выше, углистые частицы по сравнению с минеральными обладают более низкой плотностью. В среднем плотность антрацита составляет 1,5-1,7 г/см³, минеральных компонентов пыли 2,5-2,7 г/см³. Это способствует более дальнему распространению частиц угля по сравнению с минеральными частицами пыли. В результате на всех исследуемых трансектах по мере удаления от дороги отмечается увеличение содержания углерода во взвешенной части снега (рис. 4).

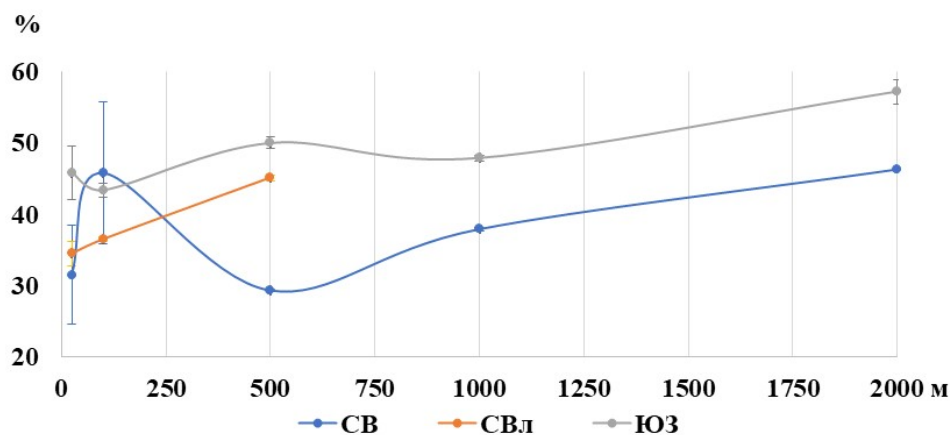


Рисунок 4. Изменение значений содержания углерода во взвешенной части снега по мере удаления от автодороги (в пробах 2019 года).

Учитывая это, а также содержание пыли в пробах, можно рассчитать количество углерода, которое получают почвы территорий после схода снега. Так, для почв трансект СВ и СВл направлений в 25 м от дороги оно составляет, соответственно, 174,4 и 294,7 г/м², в 50 м – 92,2 и 95,9 г/м², в 100 м – 54,0 и 44,6 г/м², в 250 м – 14,2 и 9,2 г/м², в 500 м – 3,8 и 5,1 г/м², в 1000 м (для СВ) – 2,0 г/м².

Помимо СНН-анализа в исследуемых пробах снега 2019 года было оценено содержание и состав ПАУ. Исследования показали, что в пыли, взятой с обочины дороги, содержание полиаренов составило 3% от массы образца (табл. 3). В пробах снега с подветренной стороны на открытом участке их содержание снижается с 1079,5 (в 25 м от дороги) до 43,8 нг/м² (в 2000 м от дороги). С наветренной стороны концентрации ПАУ в снеге от 1,5 до 8 раз меньше, канцерогенных – от 3 до 12 раз.

Отмечено, что задерживающим эффектом в процессах распространения ПАУ обладает лесополоса, посаженная вдоль дороги. Так, в если пробах СВл направления содержание пыли в 25 м от дороги больше 1.5 раза, чем в пробах СВ трансекты (табл. 1), то для ПАУ это отношение составляет 12,7 раз, в 100 м – 4,9, в 500 – 1,4 (табл. 3). При этом канцерогенных соединений в 25 м – меньше в 15,8 раз, в 100 – 5,8 раз, в 500 м – 1,5 раза. В целом в пробах снега, взятых вблизи дороги, содержание канцерогенных полиаренов от 9 до 13000 раз больше, чем на контрольном (фоновом) участке. Их доля в составе ПАУ по мере удаления от автотрассы уменьшается только в точках трансекты ЮЗ направления, достигая фоновых значений на расстоянии 2000 м. В пробах снега, отобранных на точках СВ и СВл трансект, доля канцерогенов сохраняется на уровне 50±10%. Следует отметить, что в крупных обломках угля, транспортируемых с месторождений бассейна, также отобранных с дороги и проанализированных после измельчения, суммарная доля всех канцерогенных полиаренов составляет менее 1% (рис. 5). Вероятно, это явление связано с отмечаемой в литературе летучестью легких ПАУ (Wild, Jones, 1995; Johnsen et al., 2005; Choi, 2014).

Таблица 3

Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в пробах снега

Расстояние, м	Юго-западное направление (наветренная сторона)					Пыль с дороги	Северо-восточное направление (подветренная сторона)				
	35000 (фон)	2000	1000	500	100		0	25	100	500	2000
Содержание пыли, г/л	0,0080	0,0250	0,0366	0,0410	0,1843	—	6,1812* 7,1533	1,3184 1,2383	0,1185 0,0849	0,0369 н/д	
Сумма ПАУ нг/м ² **	2,7	24,4	40,9	75,8	173,5	30304	1079,5 13665,4	599,6 2919,5	57,3 80,7	43,8 н/д	
Сумма канц. ПАУ, нг/м ² **	0,5	4,6	9,4	23,9	86,8	11893	406,4 6423,8	296,1 1704,3	28,1 40,9	21,1 н/д	

Примечание.

*Над чертой – данные для трансекты СВ, под чертой – для СВл.

**Для пыли с дороги в мкг/г

Наряду с канцерогенными соединениями в составе полиаренов преобладают и другие тяжелые соединения (рис. 5), такие как флуорантен (FLT), пирен (PYR), бенз(е)пирен (BeP) и бенз(g,h,i)перилен (BPL). Так, если на контрольном участке содержание тяжелых ПАУ в 2 раза больше, чем легких, то в пыли, взятой с дороги, а также с подветренной стороны в 2 км от нее, это отношение составляло около 13. Примечательно, что в СВ направлении доля тяжелых ПАУ увеличивается пропорционально удалению от автотрассы ($r_S = 0.95$). В тоже время в ЮЗ направлении отмечается обратная тенденция ($r_S = -0.74$).

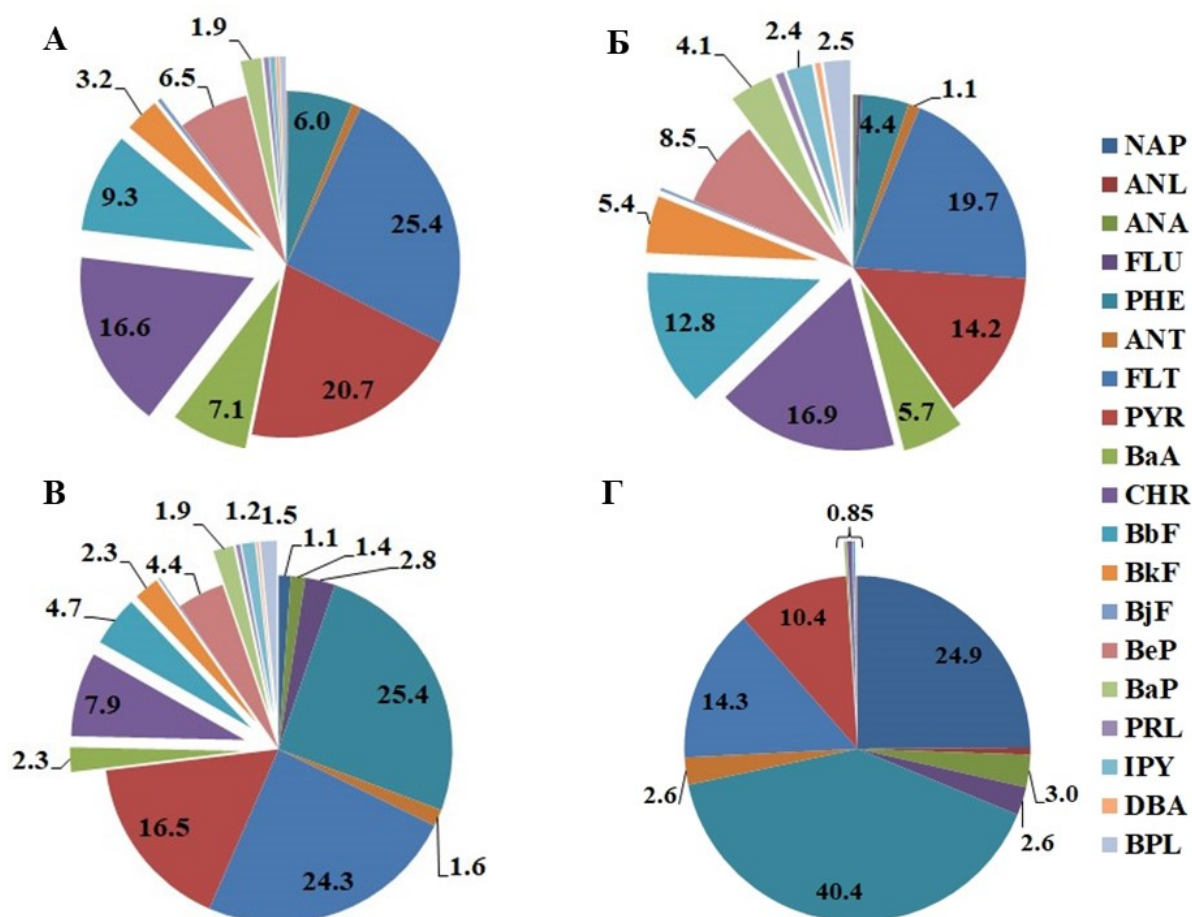


Рисунок 5. Состав ПАУ исследуемых образцов: А – пыль с дороги; Б – проб снега СВ направления в 2000 м от дороги; В – фоновое участка; Г – обломков антрацита. Канцерогенные ПАУ: BaA-бенз(а)антрацен, CHR-хризен, BbF-бенз(б)флуорантен, BkF- бенз(к)флуорантен, BjF-бенз(ж)флуорантен, BaP-бенз(а)пирен, IPY-индено(1,2,3-сd)пирен, DBA-дибенз(а,h)антрацен; Не канцерогенные ПАУ: NAP-нафталин, ANL-аценафтилен, ANA-аценафтен, FLU-флуорен, PHE-фенантрен, ANT-антрацен, FLT-флуорантен, PYR-пирен, BeP-бенз(е)пирен, PRL-перилен, BPL-бенз(г,h,i)перилен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют заключить, что влияние на прилегающие территории автодорог, по которым транспортируют уголь, добываемый на месторождениях Горловского антрацитового бассейна, распространяется более чем на 2000 м во всех направлениях. Отмечаемое воздействие зафиксировано посредством оценки содержания состава пыли в снеговом покрове. Установлено, что на один квадратный метр обследованных участков за период устойчивого снежного покрова выпадает от 1,4 до 1131,6 грамм пыли. Особенности распределения пыли в снежном покрове определяются направлением ветра, степенью удаленности от источника загрязнения (дороги), а также наличием защитных насаждений, представленных лесополосами.

Состав пыли как прилегающих, так и удаленных от автодороги участков представлен преимущественно углистыми частицами. Содержание углерода во взвешенной части проб снега составляет от 26,5 до 64,1%. При этом по мере удаления от дороги содержание углерода в пыли увеличивается.

Пылевые выпадения, накопленные в снеговом покрове, несут потенциальную угрозу природным экосистемам, поскольку содержат значительное количество полициклических ароматических углеводородов, в том числе и канцерогенных. В пробах снега, отобранных в пределах 2000 м от автодороги, содержание канцерогенных полиаренов от 9 до 13000 раз больше, чем на контрольном (фоновом) участке.

Мониторинг участков исследования, проведенный в 2018–2020 годах, показал, что, несмотря на увеличение объемов транспортируемого по автотрассе угля, пылевая нагрузка на прилегающие территории имеет тенденцию к снижению. В среднем концентрация пыли в снеге за эти годы

уменьшилась, что обусловлено мероприятиями по пылеподавлению, осуществляемыми угледобывающими компаниями.

Таким образом, минимизация негативных экологических последствий, связанных с транспортировкой добываемого в пределах Горловского бассейна антрацита, возможна при: а) создании широких многоярусных лесополос вдоль технологических дорог; б) обязательном укрывании кузовов углевозов защитными тентами; в) снижении скоростного режима транспорта; г) учете розы ветров при проектировании размещения новых дорог и отвалов отходов угледобычи.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы работы выражают благодарность сотруднику кафедры почвоведения и экологии почв Томского государственного университета кандидату биологических наук Сергею Васильевичу Лойко за помощь в проведении микроморфологических наблюдений.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено в рамках госбюджетных тем ИПА СО РАН (№121031700316-9) и НИОХ СО РАН (№ 0238-2021-0005).

ЛИТЕРАТУРА

- Андреева И.С., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Коковкин В.В., Олькин С.Е., Петрищенко В.А., Рапута В.Ф., Резникова И.К., Сафатов А.С., Степанова Е.В. Оценка биогенных загрязнений в снежном покрове в окрестности Новосибирска // *Оптика атмосферы и океана*. 2001. Т. 14. №6-7. С.547-550.
- Госсен И.Н., Кулижский С.П., Данилова Е.Б., Соколов Д.А. Бонитировочный подход к оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Сибири (на примере отвалов антрацитовых, каменно- и бурогольных месторождений) // *Вестник НГАУ*. 2016. Т. 39. №2. С. 71-81.
- Девятова А.Ю., Бортникова С.Б., Соколов Д.А., Госсен И.Н., Соколова Н.А. Влияние Горловского угольного месторождения (Новосибирская область) на состояние приземного слоя атмосферы // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2019. Т. 27. №5. С. 460-470. DOI: [10.15372/KhUR2019160](https://doi.org/10.15372/KhUR2019160)
- Ермолов Ю.В., Смоленцев Н.Б. Зимний фоновый сток примесей атмосферы на юго-востоке Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2020. Т. 33. №1. С.75-81. DOI: [10.15372/AOO20200111](https://doi.org/10.15372/AOO20200111)
- Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Морозов С.В. Экспериментальное исследование и численный анализ процессов распространения загрязнения снежного покрова в окрестностях крупной автомагистрали // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2010. Т. 18. №1. С.63-70.
- Рапута В. Ф., Леженин А. А., Ярославцева Т. В., Девятова А. Ю. Экспериментальные и численные исследования загрязнения снежного покрова г. Новосибирска в окрестностях тепловых электростанций // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле*. 2015. Т. 12. С. 77-93.
- Соколов Д.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Госсен И.Н. Особенности формирования почв техногенных ландшафтов в различных природно-климатических зонах юга Сибири // *Вестник ТГУ*. 2012. №364. С.225-229.
- Соколов Д.А., Кулижский С.П., Лойко С.В., Доможакова Е.А. Использование сканирующей электронной микроскопии для диагностики процессов почвообразования на поверхности отвалов каменноугольных разрезов Сибири // *Вестник ТГУ. Биология*. 2014. №3 (27). С.36-52.
- Солнцева, Н.П. Рубилина Н.Е., Герасимова М.И., Алистратов С.В. Изменение морфологии выщелоченных черноземов в районах добычи угля // *Почвоведение*. 1992. № 1. С. 17-29.
- Choi S.-D. Time trends in the levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pine bark, litter, and soil after a forest fire // *Science of The Total Environment*. 2014. №470-471. P.1441-1449. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.07.100](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.100)
- Claxton L.D. The history, genotoxicity, and carcinogenicity of carbon-based fuels and their emissions. Part 2: Solid fuels // *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*. 2014. Vol. 762. P.108-122. DOI: [10.1016/j.mrrev.2014.07.002](https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2014.07.002)
- Eisenbies M.H., Aust W.M., Burger J.A., Adams M.B. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians – A review // *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol.242. Iss. 2-3. P.77-98. DOI: [10.1016/j.foreco.2007.01.051](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.051)
- Fen-g Y., Wang J., Bai, Z., Reading L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review // *Earth-Science Reviews*. 2019. Vol.191. P.12-25. DOI: [10.1016/j.earscirev.2019.02.015](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.015)
- Johnsen A.R., Wick L.Y., Harms H. Principles of microbial PAH-degradation in soil // *Environmental Pollution*. 2005. Vol.133. Iss.1. P.71-84. DOI: [10.1016/j.envpol.2004.04.015](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.04.015)
- Lawrence H.K. The Source of U.S. EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants // *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2015. Vol.35. P.147-160. DOI: [10.1080/10406638.2014.892886](https://doi.org/10.1080/10406638.2014.892886)
- Mishra S.K., Hitzhusen F.J., Sohngen B.L., Guldmann J.-M. Costs of abandoned coal mine reclamation and associated recreation benefits in Ohio // *Journal of Environmental Management*. 2012. Vol. 100. P.52-58. DOI: [10.1016/j.jenvman.2011.10.015](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.015)

10.1016/j.jenvman.2012.01.021

Negley T.L., Eshleman K.N. Comparison of stormflow responses of surface-mined and forested watersheds in the Appalachian Mountains, USA // *Hydrological Processes*. 2006. Vol. Iss.16. P.3467-3483. DOI: [10.1002/hyp.6148](https://doi.org/10.1002/hyp.6148)

Querol X., Zhuang X., Font O., Izquierdo M., Alastuey A., Castro I., van Drooge B.L., Moreno T., Grimalt J.O., Elvira J., Cabañas M., Bartroli R., Hower J.C., Ayora C., Plana F., López-Soler A. Influence of soil cover on reducing the environmental impact of spontaneous coal combustion in coal waste gobs: A review and new experimental data // *International Journal of Coal Geology*. 2011. Vol. Iss.1. P.2-22. DOI: [10.1016/j.coal.2010.09.002](https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.09.002)

Rocha-Nicoleite E., Overbeck G.E., Müller S.C. Degradation by coal mining should be priority in restoration planning // *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2017. Vol. Iss.3. P.202-205. DOI: [10.1016/j.pecon.2017.05.006](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.006)

Townsend P.A., Helmers D.P., Kingdon C.C., McNeil B.E., de Beurs K.M., Eshleman K.N. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976–2006 Landsat time series // *Remote Sensing of Environment*. 2009. №1 (113). P.62-72. DOI: [10.1016/j.rse.2008.08.012](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.012)

Wei X., Wei H., Viadero Jr.R.C. Post-reclamation water quality trend in a Mid-Appalachian watershed of abandoned mine lands // *Science of The Total Environment*. 2011. Vol. 409. Iss. 5. P.941-948. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2010.11.030](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.11.030)

Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget // *Environmental Pollution*. 1995. №88. P.91-108. DOI: [10.1016/0269-7491\(95\)91052-M](https://doi.org/10.1016/0269-7491(95)91052-M)

Поступила в редакцию 06.04.2021

Принята 30.05.2021

Опубликована 05.06.2021

Сведения об авторах:

Соколов Денис Александрович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); sokolovdenis@issa-siberia.ru

Усольцев Николай Владимирович – техник-лаборант лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); usoltsv97@mail.ru

Госсен Игорь Николаевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); gossen@issa-siberia.ru

Морозов Сергей Владимирович – кандидат химических наук, заведующий лабораторией экологических исследований и хроматографического анализа ФГБУН Новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН (Новосибирск, Россия); morozov@nioch.nsc.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

MONITORING THE AEROSOL SOLIDS DEPOSITED IN SNOW IN THE AREA AFFECTED BY THE TECHNOLOGICAL ROAD OF THE GORLOV ANTHRACITE MINING PIT (NOVOSIBIRSK REGION, RUSSIA)

© 2021 D. A. Sokolov ¹, N. V. Usoltsev¹, I. N. Gossen ¹ S. V. Morozov²

Address: ¹ Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, 630090, Russia.

E-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru

² N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, SB RAS, Lavrentieva 9, Novosibirsk, 630090, Russia.

E-mail: morozov@nioch.nsc.ru

The aim of the study. To monitor and assess the chemical composition of the solid aerosols deposited in the snow in the area affected by the technological road of the Gorlov anthracite mining site.

Location and time of the study. The study was conducted in the Iskitim district of the Novosibirsk region (54.58° N, 83.57° E) in 2018–2020.

Methodology. The content of total solids in snow was measured by gravimetric method after filtering the melted snow sample through the filter with 0.22 μm mesh size. Micromorphology of the solids was studied by using scanning electron microscope Hitachi TM-3000 (Japan) with attached EDS detector console Bruker

Quantax 70 for the element analysis of the surface. The carbon content, C/H and C/N ratios were determined by dry combustion using the CHN-analyzer (Perkin Elmer 2400 Series II, USA). The content and composition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) were determined by gas chromatography using Agilent Technologies AT 6890N with AT 5975N mass-selective detector and AT 7683B autosampler.

Main results. *The article presents the results of the three-years long study of the solids accumulated in snow along the technological road in the north of the Gorlov anthracite basin. The influence of the automobile road used for the anthracite transportation was shown to reach as far as 2000 m in all directions. The snow cover was found to accumulate from 1.4 to 1131.6 g/m² of deposited aerosol solids. Those solids were mostly represented by coal particles, the carbon content ranging 26.5–64.1% and increasing with the distance from the road. The aerosol solids, accumulated in snow, were found to contain significant amounts of PAH, including the carcinogenic ones. In the snow samples collected at 25–2000 m off the road, carcinogenic PAH content was found to be 9–13000 times higher than at the control site remoted from the road.*

Conclusion. *The presented study helped to elucidate the factors, contributing to decreasing the spread of the anthracite solids during automobile transportation. Such spread can be attained by a) establishing wide multi-storeyed forested protective belts along technological automobile roads; b) compulsory covering of the loads in the coal-transporting vehicles; c) decreasing the speed limit of the vehicles; and d) taking into consideration a wind rose while projecting locations new automobile roads and coal mining spoils.*

Keywords: *coal dust; atmosphere contamination; snow cover; polycyclic aromatic hydrocarbons; open coal mining; cancerogens*

How to cite: *Sokolov D.A., Usoltsev N.V., Gossen I.N., Morozov S.V. Monitoring the aerosol solids deposited in snow in the area affected by the technological road of the Gorlov anthracite mining pit (Novosibirsk region, Russia) // The Journal of Soils and Environment, 2021, Vol.4, No.1, e133 . doi: 10.31251/pos.v4i1.133*

REFERENCES

- Andreeva I.S., Borodulin A.I., Buryak G.A., Kokovkin V.V., Olkin S.E., Petrishchenko V.A., Raputa V.F., Reznikova I.K., Safatov A.S., Stepanova E.V. Estimating biogenic pollution of Novosibirsk suburbs by analyzing the snow cover, Optika Atmosfery i Okeana, 2001, Vol. 14, No. 6–7, p.547–550. (in Russian)*
- Gossen I.N., Kulizhskiy S.P., Danilova E.B., Sokolov D.A. Appraising approach to the evaluation of soil and ecological situation of technogenic landscapes of Siberia (anthracite mines, brown coal fields), Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University), 2016, Vol. 39, No2, p.71–81. (in Russian)*
- Devyatova A.Yu., Bortnikova S.B., Sokolov D.A., Gossen I.N., Sokolova N.A. Evaluation of the influence of the Gorlovka coal deposit (Novosibirsk region) on the state of the surface layer of the atmosphere, Khimiya v Interesakh Ustoichivogo Razvitiya, 2019, Vol. 27, No.5, p.460–470. (in Russian) DOI: 10.15372/KhUR2019160*
- Ermolov Yu.V., Smolentsev N.B. Winter background runoff of atmospheric impurities in the southeast of Western Siberia, Optika Atmosfery i Okeana, 2020, Vol. 33, No.1, p.75–81. (in Russian) DOI: 10.15372/AOO20200111*
- Raputa V.F., Kokovkin V.V., Morozov S.V. Experimental study and numerical analysis of the processes of distribution of snow cover pollution in the vicinity of a major highway, Khimiya v Interesakh Ustoichivogo Razvitiya, 2010, Vol., 18, No.1, p.63–70. (in Russian)*
- Raputa V.F., Lezhenin A.A., Yaroslavtseva T.V., Devyatova A.Yu. Experimental and numerical studies of snow cover pollution in Novosibirsk in the vicinity of thermal power plants, Bulletin of the Irkutsk State University. Series: Earth Sciences, 2015, Vol. 12, p.77–93. (in Russian)*
- Sokolov D.A., Kulizhsky S.P., Domozhakova E.A., Gossen I.N. Features of the formation of soils of technogenic landscapes in various natural and climatic zones of southern Siberia, Tomsk State University Journal, 2012, No. 364, p.225–229. (in Russian)*
- Sokolov D.A., Kulizhsky S.P., Loiko S.V., Domozhakova E.A. The use of scanning electron microscopy for diagnostics of soil formation processes on the surface of dumps of coal mines in Siberia, Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya, 2014, Vol. 27, No.3, p.36–52. (in Russian)*
- Solntseva, N.P. Rubilina N.E., Gerasimova M.I., Alistratov S.V. Changes in the morphology of leached chernozems in coal mining areas, Pochvovedenie, 1992, No.1, p.17–29. (in Russian)*
- Choi S.-D. Time trends in the levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pine bark, litter, and soil after a forest fire, Science of The Total Environment, 2014, №470-471, P.1441–1449. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.100*
- Claxton L.D. The history, genotoxicity, and carcinogenicity of carbon-based fuels and their emissions. Part 2: Solid fuels, Mutation Research/Reviews in Mutation Research, 2014, Vol. 762, p.108–122. DOI: 10.1016/j.mrrev.2014.07.002*
- Eisenbies M.H., Aust W.M., Burger J.A., Adams M.B. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians – A review, Forest Ecology and Management, 2007, Vol.242, Iss. 2-3, p.77–98. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.01.051*
- Feng Y., Wang J., Bai, Z., Reading L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review, Earth-Science Reviews, 2019, Vol.191, p.12–25. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.02.015*

- Johnsen A.R., Wick L.Y., Harms H. Principles of microbial PAH-degradation in soil, *Environmental Pollution*, 2005, Vol.133, Iss.1, p.71–84. DOI: [10.1016/j.envpol.2004.04.015](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.04.015)
- Lawrence H.K. The Source of U.S. EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants, *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2015, Vol.35, Iss.2-4, p.147–160. DOI: [10.1080/10406638.2014.892886](https://doi.org/10.1080/10406638.2014.892886)
- Mishra S.K., Hitzhusen F.J., Sohngen B.L., Guldmann J.-M. Costs of abandoned coal mine reclamation and associated recreation benefits in Ohio, *Journal of Environmental Management*, 2012, Vol.100, p.52–58. DOI: [10.1016/j.jenvman.2012.01.021](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.021)
- Negley T.L., Eshleman K.N. Comparison of stormflow responses of surface-mined and forested watersheds in the Appalachian Mountains, USA, *Hydrological Processes*, 2006, Vol. 20, Iss.16, p.3467–3483. DOI: [10.1002/hyp.6148](https://doi.org/10.1002/hyp.6148)
- Querol X., Zhuang X., Font O., Izquierdo M., Alastuey A., Castro I., van Drooge B.L., Moreno T., Grimalt J.O., Elvira J., Cabañas M., Bartroli R., Hower J.C., Ayora C., Plana F., López-Soler A. Influence of soil cover on reducing the environmental impact of spontaneous coal combustion in coal waste gobs: A review and new experimental data, *International Journal of Coal Geology*, 2011, Vol. 85, Iss. 1, p.2–22. DOI: [10.1016/j.coal.2010.09.002](https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.09.002)
- Rocha-Nicoleite E., Overbeck G.E., Müller S.C. Degradation by coal mining should be priority in restoration planning, *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2017, Vol. 15, Iss.3, p.202–205. DOI: [10.1016/j.pecon.2017.05.006](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.006)
- Townsend P.A., Helters D.P., Kingdon C.C., McNeil B.E., de Beurs K.M., Eshleman K.N. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976–2006 Landsat time series, *Remote Sensing of Environment*, 2009, Vol. 113, Iss.1, p.62–72. DOI: [10.1016/j.rse.2008.08.012](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.012)
- Wei X., Wei H., Viadero Jr.R.C. Post-reclamation water quality trend in a Mid-Appalachian watershed of abandoned mine lands, *Science of The Total Environment*, 2011, No.5 (409), p.941–948. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2010.11.030](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.11.030)
- Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget, *Environmental Pollution*, 1995, No.88, p.91–108. DOI: [10.1016/0269-7491\(95\)91052-M](https://doi.org/10.1016/0269-7491(95)91052-M)

Received 06 April 2021

Accepted 30 May 2021

Published 05 June 2021

About the authors:

Sokolov Denis A. – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); sokolovdenis@issa-siberia.ru

Usoltsev Nikolay V. – Technician in the Laboratory of Soil Reclamation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); usoltsv97@mail.ru

Gossen Igor N. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); gossen@issa-siberia.ru

Morozov Sergey V. – Candidate of Chemical Sciences, Head of the laboratory of Environmental Research and Chromatographical Analysis of the N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); morozov@nioch.nsc.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ БУРОГО УГЛЯ, В ЦЕЛЯХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

© 2021 Ф. С. Фиша ^{ID}¹, Е. В. Будина¹, С. И. Жеребцов ^{ID}², Н. В. Мальшенко ^{ID}², И. Н. Госсен ^{ID}³,
С. Ю. Клековкин³, Д. А. Соколов ^{ID}³

Адрес: ¹ФБГОУ Новосибирский государственный аграрный университет, улица Добролюбова, 160,
г. Новосибирск, 630039, Россия. E-mail: phuticedric@mail.ru

²ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Советский проспект, 18,
г. Кемерово, 650000, Россия. E-mail: sizh@yandex.ru

³ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru

Цель исследования. Выявление перспектив использования гуминовых препаратов для восстановления нарушенных угледобычей территорий посредством оценки связи их биологической активности и структурно-группового состава.

Место и время проведения. Исследования проводили в 2020 году в Новокузнецком районе Кемеровской области (54.14° с.ш. и 87.10° в.д.).

Методология. Исследование структурно-группового состава гуминовых препаратов выполняли методом ¹³C ЯМР-спектроскопии. Оценка эффективности воздействия гуминовых препаратов проведена в серии деляночных опытов, заложенных в пределах рекультивированных и нерекультивированных участков отвала каменноугольного разреза. Свойства субстратов техногенных ландшафтов определяли традиционными почвенными методами. Влияние препаратов выявляли по увеличению урожайности фитомассы и стручков *Vicia villósa*, а также травяной смеси *Avéna satíva*+*Vicia villósa*. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом главных компонент.

Основные результаты. Сравнительная оценка гуминовых препаратов, полученных из бурых углей Тисульского (Канско-Ачинского бассейна) и Тюльганского месторождений (Южно-Уральского бассейна), показала, что в целом все препараты оказывают положительное воздействие. Однако в различных условиях техногенных ландшафтов и по отношению к различным видам растений эффект может проявиться разнонаправлено.

Устойчивый положительный эффект от предпосевной обработки семян был достигнут только на субстратах, обедненных природными гуминовыми веществами (гумусом и торфом), и при оптимальном увлажнении. В таких условиях наибольшее влияние оказывали препараты, полученные из бурых углей Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна, и их естественно-окисленные формы, для которых характерна высокая доля кислородсодержащих алифатических (C_{alk-O}) и ароматических (C_{ar}) групп. В условиях дефицита влаги отмеченные показатели отрицательно влияли на урожайность. На каменистых участках техногенных ландшафтов положительный эффект проявился у препаратов с максимальной долей ароматических гидроксидсодержащих групп (C_{ar-OH}).

Обогащение гуминовых препаратов микроэлементами Zn и Cu не повлекло за собой ни положительных, ни отрицательных последствий.

Заключение. Использование гуминовых препаратов, полученных из бурых углей, в целях восстановления техногенных ландшафтов обоснованно только на участках, сложенных суглинистыми породами с низким содержанием гуминовых веществ гумуса и торфа. Разнонаправленность действия гуматов, проявляющаяся в зависимости от их структурно-группового состава, свойств субстратов и видов растений, используемых на биологическом этапе, свидетельствует о нецелесообразности использования унифицированных препаратов для рекультивации различных техногенных объектов.

Ключевые слова: гуминовые препараты; биологическая активность; техногенные ландшафты; рекультивация; структурно-групповой состав органических соединений; метод главных компонент; Technosol

Цитирование: Фиша Ф.С., Будина Е.В., Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Госсен И.Н., Клековкин С.Ю., Соколов Д.А. Сравнительная оценка перспектив использования гуминовых веществ, полученных из бурого угля, в целях рекультивации техногенных ландшафтов // Почвы и окружающая среда. 2021. Т.4. № 1. doi:10.31251/pos.v4i1.135

ВВЕДЕНИЕ

Десятилетия антропогенной деятельности, такой как добыча полезных ископаемых, строительство и складирование отходов, приводят к неизбежному превращению природных ландшафтов в техногенные (Gisladdottir et al., 2005; Mborah et al., 2016). Нарастание темпов техногенной нагрузки способствует возникновению угрозы продовольственной безопасности из-за нехватки земель сельскохозяйственного назначения (Kumar, 2013). По данным ФАО на данный момент около 2 млрд человек в мире испытывают нехватку продуктов питания (ФАО ..., 2019).

В связи с этим возникает необходимость в поиске решения проблемы возвращения нарушенных земель в сельскохозяйственный фонд (Stringer et al., 2011; Mattiske, 2016; Wang et al., 2017). Одним из возможных решений может быть применение в рекультивации гуминовых препаратов, извлекаемых из углей и отходов угольной промышленности (Conselvan et al., 2017; Tsetsegmaa et al., 2018). Установлено, что гуминовые препараты обладают высокой биологической активностью, и могут являться стимуляторами роста растений и развития фитоценозов (Быкова и др., 2013). С одной стороны, гуминовые вещества, попадая в растения, стимулируют ряд физиологических изменений: увеличивается содержание липидов, повышается активность фосфотазы, усиливаются антиоксидантные свойства (Пукальчик и др., 2017). С другой, силанольные производные гуминовых веществ улучшают почвенную структуру за счет повышения средневзвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов (в 1,1–2,1 раза), способствуют увеличению микробиологической активности почв, а также содержания растворенного органического вещества и доступного азота (Куликова и др., 2018; Филиппова и др., 2015).

Перспективным источником получения эффективных гуминовых препаратов являются бурые угли (Жеребцов и др., 2016, 2019). Отмечается, что гуминовые кислоты, выделенные из бурых углей, характеризуются высокой биологической активностью (Жеребцов и др., 2018). Предпосевная обработка семян и обработка всходов сельскохозяйственных культур гуминовыми препаратами способствует успешному преодолению растениями экстремальных условий, свойственных техногенным ландшафтам (Быкова и др., 2013; Соколов и др., 2018).

В связи с этим целью исследования стало выявление перспектив использования гуминовых препаратов для восстановления нарушенных угледобычей территорий посредством оценки связи их биологической активности и структурно-группового состава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследований были выбраны гуминовые препараты, полученные из бурых углей различных марок. В частности, были выбраны гумусовые бурые угли Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна (БУТС), их естественно-окисленная форма (БУТСО), угли Тюльганского месторождения Южно-Уральского бассейна (БУТ). Гуматы натрия (Hum Na) и калия (Hum K) получали осаждением из щелочного раствора при добавлении соляной кислоты (Тайц, Андреева, 1983). Обогащение препаратов проводили путем добавления к гумату Hum Na БУТС микроэлементов – меди и цинка.

Образцы гуматов охарактеризованы методом ^{13}C ЯМР-спектроскопии (табл. 1). Спектры ^{13}C -ЯМР высокого разрешения в твердом теле регистрировали на приборе «Bruker AVANCE III 300 WB» на частоте 75 МГц с использованием стандартной методики кросс-поляризации и вращением под магическим углом (CPMAS).

Испытания препаратов проводили на участках техногенных ландшафтов – отвалов угольного разреза «Заречный» АО «СУЭК-Кузбасс». При закладке экспериментальных площадок были выбраны почвы, развивающиеся на углевмещающих плотных породах и лессовидном суглинке рыхлых осадочных пород, а также на рекультивированных участках отвалов (табл. 2). Рекультивация была осуществлена путем отсыпки на каменистый субстрат плодородного слоя почвы (мощностью около 40 см) или при отсыпке смеси суглинка и торфа (мощностью около 100 см).

Таблица 1

Интегральные значения интенсивности спектральных областей гуминовых кислот по данным ^{13}C -ЯМР, %

Шифр образца	Химический сдвиг, м. д.						
	220–187	187–165	165–145	145–108	108–90	90–48	48–5
	$\text{C}_{\text{C=O}}$	$\text{C}_{\text{COOH(R)}}$	$\text{C}_{\text{Ar-OH}}$	C_{Ar}	$\text{C}_{\text{O-Alk-O}}$	$\text{C}_{\text{Alk-O}}$	C_{Alk}
Na БУТ30	1,5	6,4	8,5	26,0	5,2	15,2	37,3
Na БУТ31	2,4	7,6	8,5	25,2	4,2	12,2	39,9
К БУТСО	3,8	6,7	9,5	33,1	6,3	14,0	25,4
Na БУТС	3,5	7,4	8,2	31,7	6,3	14,8	26,8

Таблица 2

Основные физические и химические свойства почв (в верхнем 20-см слое)

Название (сокращенное)	Название (по: WRB, 2015)	Доля фракции, %		Плотность, г/см ³	Содержание общего углерода, %	pH _{вод.}	Влажность, %
		> 3 мм	< 0.01 мм				
Техногенный элювий (ТЭ)	Hyperskeletal Spolic Technosol (Eutric)	61±7	17,9±2,1	1,8±0,3	4,7±0,5	7,5±0,3	12,9* 10,2–15,6
Потенциально плодородные породы (ППП)	Spolic Technosol (Siltic)	0	51,9±4,3	1,3±0,1	1,4±0,2	7,2±0,2	21,4 16,5–25,2
Плодородный слой почв (ПСП)	Spolic Technosol (Epihyperskeletal, Humic, Siltic)	0	53,7±3,1	1,2±0,1	3,4±0,2	7,1±0,2	28,1 23,4–32,4
Смесь органогенных и потенциально плодородных пород (Торф + ППП)	Spolic Technosol (Carbonic, Epihyperskeletal, Siltic)	0	38,4±6,1	0,7±0,3	30,3±0,5	6,8±0,3	71,5 47,5–105,3

* В числителе – среднее, в знаменателе – минимальное и максимальное значение.

Участки полевых опытов характеризуются различными физическими и химическими свойствами почв, которые сказываются на гумусном состоянии и степени влагообеспеченности опытных площадок. Оценивая свойства субстратов отвалов, на которых проводили исследования, можно выделить два признака, дифференцирующие экспериментальные площадки по условиям проведения опытов с гуматами. Первым признаком является наличие в субстрате отвалов гуминовых веществ естественной природы. По этому признаку к площадкам первой группы относятся ПСП и Торф+ППП, субстраты которых содержат гуминовые соединения (гумус и торф соответственно). Вторая группа включает площадки ППП и ТЭ. В субстрате площадки ТЭ, содержание гуминовых веществ остается также низким.

Второй признак дифференцирует участки проведения опытов по условиям увлажнения (см. табл. 2). Так, каменистые субстраты площадки, сложенной техногенным элювием, в течение эксперимента характеризовались дефицитом увлажнения. Максимальная влажность почв в период проведения опытов достигала 15,6 %, при средней 12,9 %. Площадки, сформированные ППП и ПСП, условно можно считать оптимально увлажненными. В среднем их влажность составила 21,4 и 28,1 % соответственно. Избыточное увлажнение было на площадке Торф+ППП, где средняя за полевой сезон влажность составила 71,5 %.

Во всех вариантах полевого опыта результирующее действие гуминовых препаратов оценивали по их влиянию на урожайность *Vicia villosa* Roth. и ее смеси с *Avéna satíva* L., которую определяли в конце вегетационного периода по величине сухой надземной фитомассы. Также учитывали масса стручков *V. villosa*.

Семена замачивали в растворах препаратов в течение 24 часов, затем высевали. Гуминовые препараты разбавляли до 0,02 %. Опыт закладывали в трехкратной повторности на делянках

площадью 2 м². В контрольных вариантах вместо растворов гуматов использовали дистиллированную воду в тех же объемах, что и в вариантах с препаратами. Все партии семян предварительно проверяли на всхожесть. Для опытов отбирали партии со всхожестью семян не менее 90 %.

Статистическую обработку данных проводили методом главных компонент при помощи пакетов программ PAST V2.17.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Показано, что воздействие гуминовых препаратов на урожайность фитомассы викоовсяной смеси проявилось разнопланово (рис. 1). Одной из причин, обуславливающих неоднозначность полученных результатов, являются различные эдафические свойства субстратов.

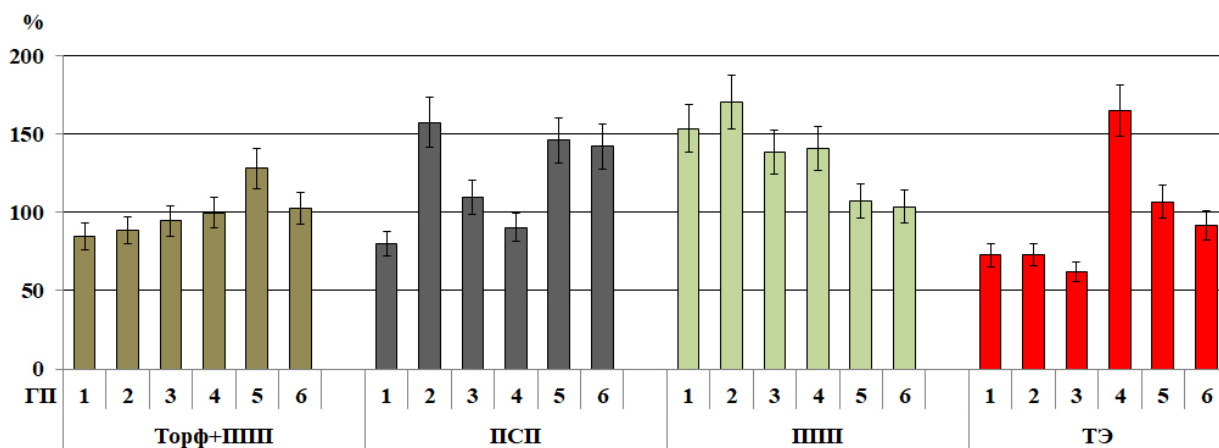


Рисунок 1. Надземная фитомасса викоовсяной смеси в вариантах опыта по отношению к контролю:

ГП – гуминовый препарат; 1 – Na БУТС + Cu 0,006%; 2 – Na БУТС; 3 – Na БУТС + Zn 0,006 %; 4 – K БУТСО; 5 – Na БУТ30; 6 – Na БУТ31; Торф+ППП – смесь торфа и суглинистых пород; ПСП – плодородный слой почвы; ППП – потенциально плодородные породы; ТЭ – каменистые породы (техногенный элювий).

Наибольший эффект от влияния препаратов зафиксирован на субстратах, представленных ППП. Превышение значений надземной фитомассы по отношению к контрольным составило от 3 до 170 %. На площадках ПСП эффект от действия препаратов проявился разнонаправленно. Положительно проявили себя гуматы ГП5, ГП6, а также ГП2. На участке Торф+ППП, на рост и развитие растений благоприятно повлиял только ГП5, эффективность других препаратов была ниже или осталась на уровне контроля. В варианте ТЭ наибольший эффект фиксировался при использовании калиевого гумата ГП4 – 65 % прибавки урожая.

Аналогичные, однако более высокие значения выявлены для сухой фитомассы *V. villosa* (рис. 2). На участках с отсыпкой торфа, ПСП и ППП практически все гуматы оказали положительное влияние на надземную фитомассу *V. villosa*. На техногенном элювии превышение значений по отношению к контролю зафиксировано только на площадках, где испытывали препараты ГП4, ГП5, ГП6.

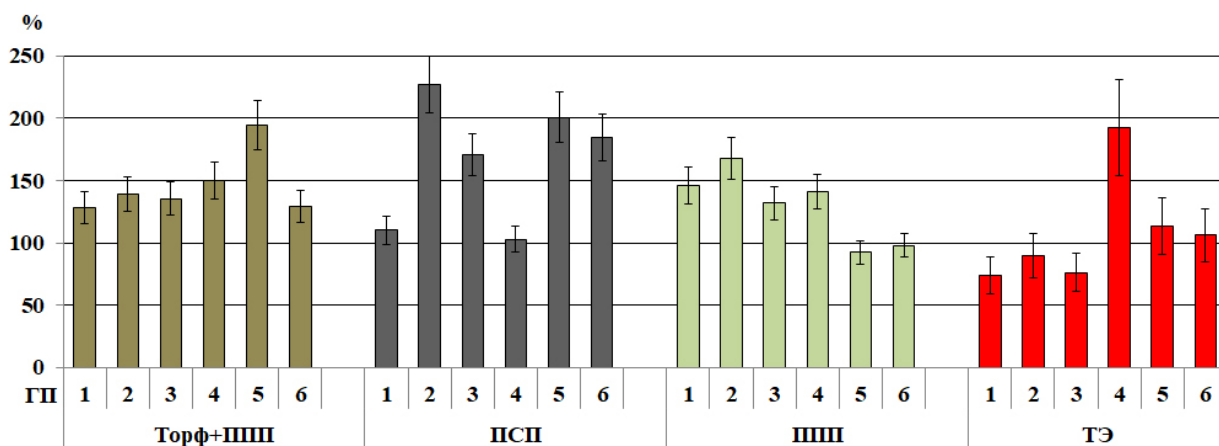


Рисунок 2. Надземная фитомасса *V. villosa* в вариантах опыта по отношению к контролю.

Обозначения – см. рис. 1.

Отдельно проводили определение массы стручков *V. villosa* (рис. 3), собранных на всех видах субстратов. На участках Торф+ППП и ППП, применение всех гуминовых препаратов положительно сказалось на увеличении массы стручков: в сравнении с контрольными вариантами прирост составил 110–315 %. Более контрастно проявили себя гуминовые препараты на участках ПСП. Отрицательный эффект на массу стручков *V. villosa* оказали гуминовые кислоты, полученные из естественно-окисленной формы углей Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна (ГП4).

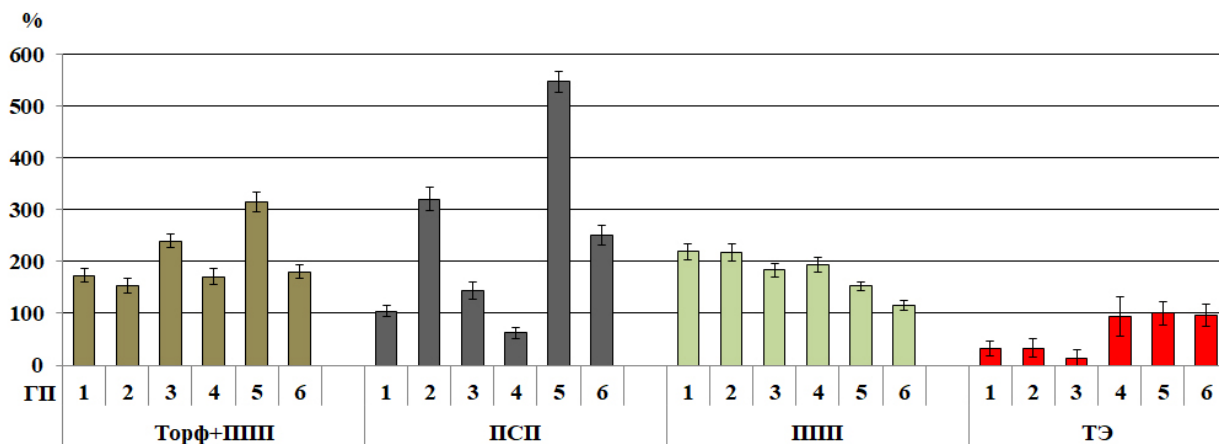


Рисунок 3. Масса стручков *V. villosa* в вариантах опыта по отношению к контролю. Обозначения – см. рис. 1.

Оценка влияния гуминовых препаратов на урожайность стручков *V. villosa* показала отрицательное воздействие препаратов ГП1, ГП2 и ГП3 (группы Na БУТС). Масса стручков вики с площадок, обработанных препаратами, оказалась в 3 раза меньше, чем в контрольном варианте.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Статистическая обработка результатов, полученных в полевых экспериментах, была проведена методом главных компонент. При этом учитывали свойства структурно-группового состава гуминовых, в том числе и модифицированных, препаратов, а также превышение урожайности *V. villosa*, травяной смеси *A. sativa*+*V. villosa* и массы стручков *V. villosa* по отношению к контрольным вариантам опытов. Результаты показали, что наиболее тесную положительную связь с первой главной компонентой имеют такие показатели, как C_{Alk} , C_{Ar} и $C_{O-Alk-O}$ (табл. 3). Значительный вклад в первую главную компоненту также вносит группа $C_{C=O}$. Вторая компонента тесно связана с долей углерода C_{Ar-OH} . Третья компонента надежно коррелирует с $C_{COOH(R)}$ и C_{Alk-O} .

Таблица 3

Корреляционная связь главных компонент и параметров структурно-группового состава гуминовых препаратов в полевом опыте

Параметр	Главная компонента 1 (39 % дисперсии)	Главная компонента 2 (19 % дисперсии)	Главная компонента 3 (17 % дисперсии)
$C_{C=O}$	0,90	-0,20	-0,25
$C_{COOH(R)}$	0,21	0,49	-0,78
C_{Ar-OH}	-0,02	-0,92	0,18
C_{Ar}	0,96	-0,23	0,08
$C_{O-Alk-O}$	0,94	-0,08	0,30
C_{Alk-O}	0,49	0,22	0,67
C_{Alk}	-0,97	0,16	-0,11
Cu	0,41	0,23	-0,21
Zn	0,33	0,35	-0,03

Примечание. Цветом выделены достоверные значения.

Обогащение препаратов медью и цинком не продемонстрировало какой-либо связи с главными компонентами, равно как и с показателями урожайности площадок, что свидетельствует об отсутствии эффекта от использования микроэлементов.

При оценке расположения признаков в пространстве первых двух главных компонент (рис. 4) становится очевидным, что отмеченные свойства препаратов влияют на урожайность только на субстрате, обедненном педогенным органическим веществом, т.е. ППП. В почвах, обогащенных природными гуминовыми веществами (ПСП и Торф+ППП), их связь с показателями урожайности не фиксируется. При этом выявлена тесная положительная связь с показателями урожайности на площадках каменистых пород (ТЭ) с C_{Ar-OH} . Последнее объясняет, почему в условиях дефицита влаги максимальное превышение урожайности по отношению контролю было выявлено на участках, где семена обрабатывали препаратами с максимальной долей C_{Ar-OH} в групповом составе гуминовых кислот.

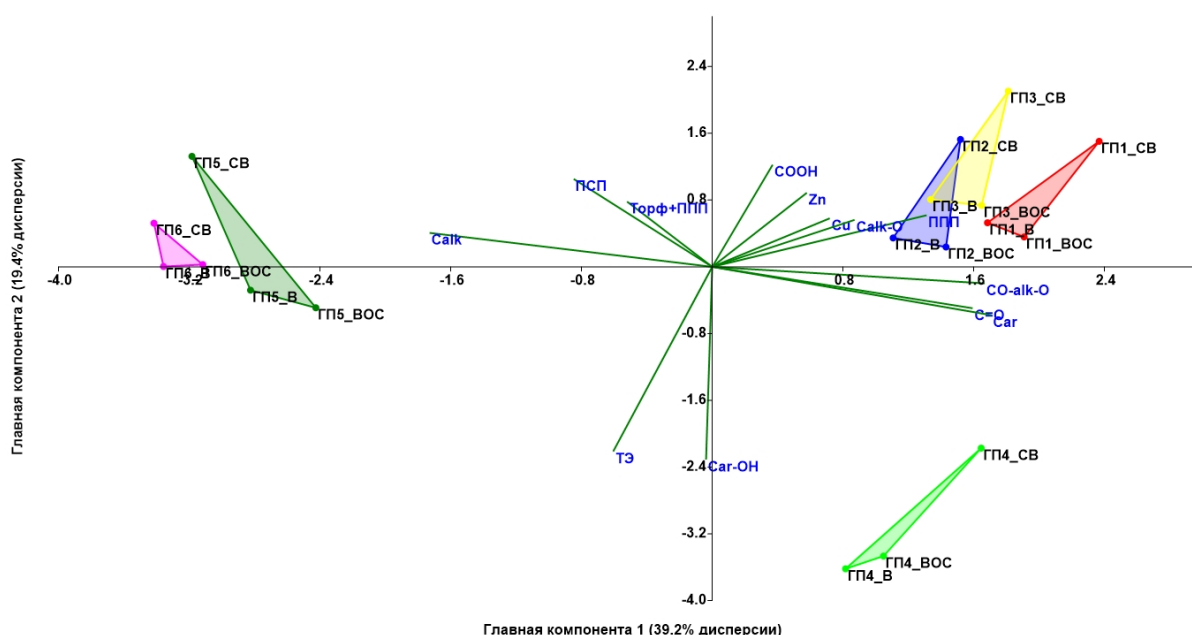


Рисунок 4. Распределение параметров гуминовых кислот и свойств субстратов площадок полевого опыта в пространстве двух главных компонент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что большинство испытуемых препаратов способно оказывать влияние на урожайность *V. villósa*, а также травяной смеси *A. satíva*+*V. villósa* на поверхности техногенных ландшафтов. Эффект от действия гуминовых препаратов может проявляться разнонаправлено – иметь как положительные, так и отрицательные последствия. В большей степени положительное влияние сказывается на бобовых, чем на злаковых растениях.

Действие гуминовых препаратов зависит также от свойств субстратов техногенных ландшафтов. При этом устойчивый положительный эффект от обработки семян достигается только на субстратах, обедненных природными гуминовыми веществами (гумусом и торфом), и при оптимальном увлажнении. В таких условиях наибольшее влияние оказывают препараты, полученные из бурых углей Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна (БУТС), и их естественно-окисленной формы (БУТСО), для которых характерна высокая доля кислородсодержащих алифатических ($C_{O-Alk-O}$), а также ароматических (C_{Ar}) групп. В тоже время в условиях дефицита влаги отмеченные показатели гуминовых веществ отрицательно влияют на урожайность. На испытывающих нехватку увлажнения каменистых участках положительный эффект проявился только от действия препаратов с максимальной долей ароматических гидроксидсодержащих групп (C_{Ar-OH}).

Использование препаратов группы БУТС, обогащенных Zn и Cu, не влечет за собой ни положительных, ни отрицательных последствий. По всей видимости эффект от действия этих элементов не проявился по причине отсутствия их дефицита в семенах и субстратах испытательных площадок.

Таким образом, результаты исследований позволяют заключить, что использование гуминовых препаратов, полученных из бурых углей, в целях восстановления техногенных ландшафтов, обоснованно только на участках, сложенных суглинистыми породами с низким содержанием гуминовых веществ гумуса и торфа. Отмеченная разнонаправленность действия гуматов, проявляющаяся в зависимости от их структурно-группового состава, свойств субстратов и видов растений, используемых на биологическом этапе, свидетельствует о нецелесообразности применения унифицированных препаратов для рекультивации различных техногенных объектов.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках базового проекта ИПА СО РАН и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-55-91033.

ЛИТЕРАТУРА

- Быкова С.Л., Соколов Д.А., Нечаева Т.В., Жеребцов С.И., Исмагилов З.Р. Агрэкологическая оценка применения гуматов при мелиорации техногенно нарушенных ландшафтов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2013. №5 (99). С.58-61.
- Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Дугаржав Ж., Исмагилов З.Р. Структурно-групповой состав и биологическая активность гуминовых кислот, полученных из бурых углей России и Монголии // *Химия твердого топлива*. 2019. №3. С.19-25. DOI: [10.1134/S0023117719030137](https://doi.org/10.1134/S0023117719030137)
- Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Дугаржав Ж., Исмагилов З.Р. Гуминовые препараты: связь структурно-группового состава и биологической активности // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2018. №5 (129). С.52-60. DOI: [10.26730/1999-4125-2018-5-52-60](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-5-52-60)
- Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Соколов Д.А., Исмагилов З.Р. Зависимость физиологической активности нативных и модифицированных гуминовых кислот бурых углей от структурно-группового состава // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2016. №4 (116). С.107-113.
- Куликова Н.А., Филиппова О.И., Воликов А.Б., Холодов В.А., Зиганишина А.Р., Ярославцева Н.В., Перминова И.В. Силанольные производные гуминовых веществ – перспективные мелиоранты комплексного действия // *Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – практические результаты. Материалы XIV Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Д.В. Маслак*. 2018. С.115-116.
- Пукальчик М.А., Панова М.И., Терехова В.А., Якименко О.С., Федосеева Е.В. Действие гуминовых препаратов на активность почвенных ферментов в модельном опыте // *Агрохимия*. 2017. №8. С.84-91. DOI: [10.7868/S0002188117080105](https://doi.org/10.7868/S0002188117080105)
- Соколов Д.А., Добрянская С.Л., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю., Госсен И.Н., Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Дугаржав Ж. Оценка влияния структурно-группового состава гуминовых кислот бурых углей на их биологическую активность в условиях техногенных ландшафтов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2018. №5 (129). С. 90-99. DOI: [10.26730/1999-4125-2018-5-90-99](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-5-90-99)
- Филиппова О.И., Куликова Н.А., Бычкова Я.С., Воликов А.Б., Перминова И.С. Замедленное высвобождение азота из гуминовых веществ, модифицированных аминокислотами // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2015. №1. С.42-47.
- Conselvan G.B., Pizzeghello, D., Francioso O., Foggi M.D., Nardi S., Carletti, P. Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites // *Plant Soil*. 2017. Iss.420. P.2-6. DOI:[10.1007/s11104-017-3373-z](https://doi.org/10.1007/s11104-017-3373-z)
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO.
- Gisladottir G., Stocking M. Land degradation control and its global environmental benefits // *Land Degradation and Development*. 2005. №2 (16). P.99-112. DOI:[10.1002/ldr.687](https://doi.org/10.1002/ldr.687)
- Kumar B.M. Mining waste contaminated lands: an uphill battle for improving crop productivity // *Journal of Degraded and Mining Land Management*. 2013. Vol.1, №1 (1). P.43-50. DOI:[10.15243/jdmlm.2013.011.043](https://doi.org/10.15243/jdmlm.2013.011.043)
- Mattiske A. Mine rehabilitation in the Australian minerals industry. Mineral Council of Australian, Industrial report. 2016. 48 p.
- Mborah C., Bansah K.J. and Boateng M.K. Evaluating alternate post-mining land-uses: A review // *Environment and Pollution*. 2016. №1 (5). P.14-22. DOI:[10.5539/ep.v5n1p14](https://doi.org/10.5539/ep.v5n1p14)
- Stringer L.C., Schuster M.A., Marques M.J., Amiraslani F., Quatrini S., Abraham, E.M. Combating land degradation and desertification and enhancing food security: Towards Integrated Solutions // *Annals of Arid Zone* 50 (3 and 4). 2011. P.1-23.
- Tsetsegmaa G., Akhmadi K., Cho W., Lee S., Chandra R., Jeong C.E., Chia R.W., Kang H. Effects of Oxidized Brown Coal Humic Acid Fertilizer on the Relative Height Growth Rate of Three Tree Species // *Forests*. 2018. Iss.9, №6. P.2-10. DOI:[10.3390/f9060360](https://doi.org/10.3390/f9060360)
- Wang J., Zhao F., Yang J., Li X. Mining site reclamation planning based on land suitability analysis and ecosystem service evaluation: A case study in Liaoning Province, China // *Sustainability*. 2017. Iss.9, №6. 890. P.1-19. DOI: [10.3390/su9060890](https://doi.org/10.3390/su9060890)

Поступила в редакцию 23.04.2021

Принята 15.05.2021

Опубликована 30.05.2021

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Сведения об авторах:

Фиша Фути Седрик – магистрант Новосибирского государственного аграрного университета; phuticedric@mail.ru

Будина Екатерина Валерьевна – магистрант Новосибирского государственного аграрного университета; katya_nemirskaya@mail.ru

Жеребцов Сергей Игоревич – доктор химических наук, заведующий лабораторией химии бурых углей ФГБУН ФИЦ Угля и углехимии СО РАН; sizh@yandex.ru

Малышенко Наталья Васильевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории супрамолекулярной химии полимеров ФГБУН ФИЦ Угля и углехимии СО РАН; profkemsoc@yandex.ru

Госсен Игорь Николаевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); gossen@issa-siberia.ru






Клековкин Сергей Юрьевич – ведущий инженер лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); klekovkin@issa-siberia.ru

Соколов Денис Александрович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); sokolovdenis@issa-siberia.ru



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE USE OF HUMIC SUBSTANCES DERIVED FROM BROWN COALS FOR TECHNOGENIC LANDSCAPES RECLAMATION

© 2021 P.C. Fisha ¹, E.V. Budina¹, S. I. Zhrebtsov ², N.V. Malysenko ², I.N. Gossen ³,
S.Yu. Klekovkin³, D.A. Sokolov ³

Address: ¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia. E-mail: Phuticedric@mail.ru

² Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, Kemerovo, Russia. E-mail: sizh@yandex.ru

³ Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru

The objective of the study. To identify the prospects for the use of humic preparations for the restoration of disturbed coal-mining areas, by assessing the relationship between their biological activity and the structural-group composition.

Location and time of the study. The study was carried out in the Novokuznetsk district of the Kemerovo region (N 54.14° N and E 87.10° E) in 2020.

Methodology. The study of the structure-group composition of humic preparations was carried out by the ¹³C NMR spectroscopy. Evaluation of the effect of humic preparations was performed in a series of plot experiments setup in the reclaimed and non-reclaimed areas of the coal mining spoils. The properties of the soils substrates of the technogenic landscapes were determined by traditional soil methods. The effect of the preparations was assessed by the dry phytomass production and pod yields of *Vicia villósa* vetch, as well as the phytomass production of the *Avéna satíva* + *Vicia villósa* mixture. Statistical analysis of the data was carried out by the principal components analysis.

Main results: Comparison of humic preparations obtained from brown coals of the Tisulsky (Kansk-Achinsky basin) and Tyulgansky (South Ural basin) deposits showed that, in general, all preparations positively affected phytomass production and pod yeild. However, in different conditions of technogenic landscapes and in relation to different plant species, the effect could manifest itself in different directions.

A stable positive effect from pre-sowing seed treatment was achieved only with substrates depleted in natural humic substances (humus and peat), and with optimal moisture. Under such conditions, the greatest influence was exerted by preparations obtained from brown coals of the Tisulsky deposit of the Kansk-Achinsky basin, and their naturally oxidized form, which are characterized by a high proportion of oxygen-containing aliphatic (C_{O-Alk-O}), as well as aromatic (C_{Ar}) groups. At the same time, under moisture deficit, the indicated chemical properties negatively affected the yield. In stony areas of technogenic landscapes, a positive effect was manifested only by preparations with a maximum proportion of aromatic hydroxide-

containing groups (C_{Ar-OH}). Enrichment of humic preparations with microelements (Zn and Cu) did not result in either positive or negative consequences.

Conclusion. The use of humic preparations obtained from brown coals for restoring technogenic landscapes is justified only in areas composed of loamy rocks with a low content of humic substances of humus and peat. The noted multidirectional action of humates, which manifests itself depending on their structural and group composition, properties of substrates and plant species used at the biological stage of reclamation, indicates that using the same standardized preparations for the reclamation of various technogenic objects may not be reasonable.

Key words: humic preparations; biological activity; technogenic landscape; reclamation; structural-group composition of organic compounds; principal component analysis; Technosol

How to cite: Fisha P.C., Budina E.V., Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Gossen I.N., Klekovkin S.Yu., Sokolov D.A. Comparative assessment of the use of humic substances derived from brown coals for technogenic landscapes reclamation // *Journal of Soils and Environment*, 2021, Vol.4, No.1. doi: [10.31251/pos.v4i1.135](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.135) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Bykova S. L., Sokolov D. A., Nechaeva T. V., Zherebtsov S. I., Ismagilov Z. R. Agro ecological assesment of humates application in the process of technogenic landscapes melioration, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2013, No.5, p. 58–61. (in Russian)
- Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Votolin K.S., Ismagilov Z.R., Androkhanov V.A., Sokolov D.A., Dugarjav J. Structural-group composition and biological activity of humic acids obtained from brown coals of Russia and Mongolia, *Solid Fuel Chemistry*, 2019, Vol.53, No.3, p. 145–151. DOI: [10.3103/S0361521919030121](https://doi.org/10.3103/S0361521919030121)
- Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Votolin K.S., Androkhanov V.A., Sokolov D.A., Dugarjav J., Ismagilov Z.R. Humic preparations: relation between structural group composition and biological activity, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2018, No5(129), p.52–61. (in Russian) DOI: [10.26730/1999-4125-2018-5-52-60](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-5-52-60)
- Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Sokolov D.A., Ismagilov Z.R. Dependence of physiological activity of native and modified brown coal humic acids from structural and group composition, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2016, No.4(116), p. 107–113. (in Russian)
- Kulikova N. A., Filippova O. I., Volikov A. B., Kholodov V. A., Ziganshina A. R., Yaroslavtseva N. V., Perminova I. V. Silanol derivatives of humic substances-promising meliorants of complex action In book: *Biologically active preparations for plant production. scientific justification-recommendations - practical results. Materials of the XIVth Inter. Sc. and Prac. Conf. Ed. D.V. Maslak*, 2018, p.115–116. (in Russian)
- Pukal'chik M. A., Panova M. I., Terekhova V. A., Yakimenko O. S., Fedoseeva E. V. Effect of humic preparations on the activity of soil enzymes in the model experiment, *Agrohimia*, 2017, No.8, p. 84–91. (in Russian) doi: [10.7868/S0002188117080105](https://doi.org/10.7868/S0002188117080105)
- Sokolov D.A., Dobryanskaya S.L., Androkhanov V.A., Klekovkin S.Yu., Gossen I.N., Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Votolin K.S., Dugarzhav Zh. Assessment of the structural-group composition of humic acid from brown coals impact on their biological activity in conditions of technogenic landscapes, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2018, No.5 (129), p.90–99. (in Russian) DOI: [10.26730/1999-4125-2018-5-90-99](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-5-90-99)
- Filippova O. I., Kulikova N. A., Bychkova Ya. S., Volikov A. B., Perminova I. S. Slow release of nitrogen from humic substances, modified with aminoorganosilanes, *Problemy argrohimii i ekologii*, 2015, No.1, p.42–47. (in Russian)
- Conselvan G.B., Pizzeghello D., Francioso O., Foggia M.D., Nardi S., Carletti, P. Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites, *Plant Soil*, 2017, Iss.420. P.2–6. DOI:[10.1007/s11104-017-3373-z](https://doi.org/10.1007/s11104-017-3373-z)
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO. 2019.
- Gisladottir G., Stocking M. Land degradation control and its global environmental benefits, *Land Degradation and Development*, 2005, No2(16), p.99–112. DOI:[10.1002/ldr.687](https://doi.org/10.1002/ldr.687)
- Kumar B.M. Mining waste contaminated lands: an uphill battle for improving crop productivity, *Journal of Degraded and Mining Land Management*, 2013, Vol.1, No.1, p.43–50. DOI:[10.15243/jdmlm.2013.011.043](https://doi.org/10.15243/jdmlm.2013.011.043)
- Mattiske A. Mine rehabilitation in the Australian minerals industry. Mineral Council of Australian, Industrial report. 2016. 48 p.
- Mborah C., Bansah K.J., Boateng M.K. Evaluating alternate post-mining land-uses: A review, *Environment and Pollution*, 2016, No.1(5), P.14–22.
- Stringer L.C., Schuster M.A., Marques M.J., Amiraslani F., Quatrini S., Abraham, E.M. Combating land degradation and desertification and enhancing food security: Towards Integrated Solutions, *Annals of Arid Zone* 50 (3 and 4), 2011, P.1–23.
- Tsetsegmaa G., Akhmadi K., Cho W., Lee S., Chandra R., Jeong C.E., Chia R.W., Kang, H. Effects of Oxidized Brown Coal Humic Acid Fertilizer on the Relative Height Growth Rate of Three Tree Species, *Forests*, 2018, Iss.9, No6, p.2–10. DOI: [10.3390/f9060360](https://doi.org/10.3390/f9060360)
- Wang J., Zhao F., Yang J., Li X. Mining site reclamation planning based on land suitability analysis and ecosystem service evaluation: A case study in Liaoning Province, China, *Sustainability*, 2017, Iss.9. No6, 890, p.1–19. DOI: [10.3390/su9060890](https://doi.org/10.3390/su9060890)

Received 23 April 2021

Accepted 15 May 2021

Published 30 May 2021

About the authors:

Fisha Phuti C. – Master's student of the Novosibirsk State Agrarian University;
Phuticedric@mail.ru

Budina Ekaterina V. – Master's student of the Novosibirsk State Agrarian University;
katya_nemirskaya@mail.ru

Zherebtsov Sergey I. – Doctor of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Brown Coal Chemistry, The Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia; sizh@yandex.ru

Malysenko Natalya V. – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Supramolecular Chemistry of Polymers, The Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia; profkemsc@yandex.ru

Gossen Igor N. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation, the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; gossen@issa-siberia.ru

Klekovkin Sergey Yu. – Leading Engineer of the Soil Reclamation Laboratory, the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; klekovkin@issa-siberia.ru

Sokolov Denis A. – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation, the Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; sokolovdenis@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ R ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ КЛАССОВ ПОЧВ И ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММЫ ФЕРРЕ© 2021 Д.А. Гаврилов 

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: gavrilov@issa-siberia.ru

В статье приведен алгоритм пересчета размерности элементарных почвенных частиц по Н.А. Качинскому (1965) в международную градацию (2000-50-2 мкм) с использованием формулы Е.В. Шеина (2009) и построения диаграммы Ферре с помощью пакетов "soiltexture", "plotrix" и "ggtern" в среде R. Преимуществом использования пакетов R является их свободное распространение, широкие возможности настройки диаграммы, получение опыта программирования в одном из распространенных языков для статистического анализа и построения научных иллюстраций.

Ключевые слова: гранулометрический состав почвы; диаграмма Ферре; R; текстурные классы почв

Цитирование: Гаврилов Д.А. Использование R для классификации гранулометрических классов почв и построения диаграммы Ферре // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 1. e136. doi: 10.31251/pos.v4i1.136

ВВЕДЕНИЕ

Методика расчета качественного показателя государственного задания «Комплексный балл публикационной результативности» (Методика ..., 2020), заставляет отечественных ученых менять стратегию публикационной активности, при которой публикации в базах цитирования Scopus и Web of Science становятся значительно более приоритетными. В связи с этим остро встает вопрос о сопоставимости аналитических методов, применяемых традиционно при изучении почв в отечественной науке с методами, распространенными за рубежом.

Одним из фундаментальных свойств почв является гранулометрический состав. Разница во взглядах различных научных школ на диапазон размеров элементарных почвенных частиц и гранулометрические классы почв создают определенную трудность в понимании классификаций почв по грансоставу, применяемых в различных странах. В качестве примера на рисунке 1 показаны различия размеров фракций гранулометрического состава почв между отечественной и зарубежной классификациями.

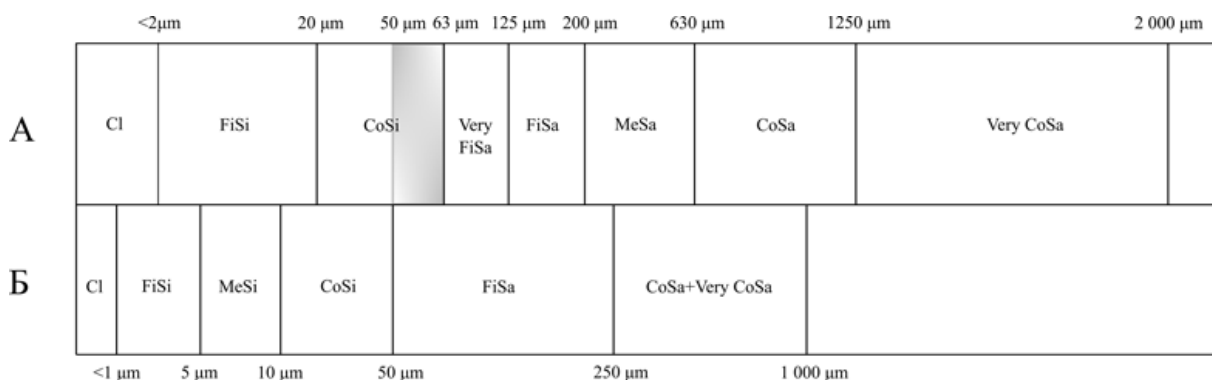


Рисунок 1. Схема соотношения размеров элементарных почвенных частиц по: А – IUSS Working Group WRB (2015) и USDA; Б – Н.А. Качинскому (1965).

Условные обозначения: Cl (Clay) – ил, FiSi (Fine Silt) – мелкая пыль, MeFi (Medium Silt) – средняя пыль, CoSi (Coarse Silt) – крупная пыль, Very FiSa (Very Fine Sand) – очень мелкий песок, FiSa (Fine Sand) – мелкий песок, CoSa (Coarse Sand) – крупный песок, Very CoSa (Very Coarse Sand) – очень крупный песок.

Однако эти трудности могут быть успешно преодолены. Е.В. Шеин (2009) показал физическую и статистическую основу для перехода от классификации элементарных почвенных частиц почв по Н.А. Качинскому (1965) к Международной классификации (IUSS Working Group

WRB, 2015). С помощью линейной интерполяции им предложено несколько формул расчета содержания частиц диаметром <0,002 мм, основанных на содержании частиц 0,005 и 0,001 мм по Н.А. Качинскому:

$$\Phi_{<0.002} = 0.57\Phi_{<0.001} + 0.43\Phi_{<0.005} \quad (1)$$

$$\Phi_{<0.002} = -1.148 + 0.43\Phi_{<0.005} + 0.53\Phi_{<0.001} \quad (2)$$

Определенная сложность публикаций в зарубежных журналах связана и с визуализацией результатов гранулометрического анализа почв – необходимостью построения треугольника Ферре (ternary plot или triangle plot). На сегодняшний день разработано большое количество коммерческих программ, реализующих эту задачу (Origin Lab, Grapher и т.д.), но, чаще всего, использование программ требуют приобретение платной лицензии, которую зачастую вынужден покупать лично сам научный сотрудник.

В данной работе мы предлагаем решение рассмотренных проблем с помощью свободно распространяемых специализированных пакетов в среде R и формулы (1) В.Н. Шеина (2009).

В работе не рассматривается алгоритм установки программ R (<https://www.r-project.org/>) и RStudio (<https://www.rstudio.com/>), т.к. в интернете существует огромное количество инструкций по их скачиванию и установке.

РАСЧЕТ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОСТРОЕНИЕ ТРЕУГОЛЬНИКА ФЕРРЕ

Для загрузки данных в программу R необходимо предварительно подготовить таблицу с результатами гранулометрического анализа в любом табличном редакторе (Exel.xls, Calc.odt, Блокнот.txt и т.д.), где традиционные названия фракций по Н.А. Качинскому будут изменены на названия согласно таблице 1.

Таблица 1

Наименование элементарных почвенных частиц в табличном редакторе

Наименование ЭПЧ	Диаметр, μm	Наименование ЭПЧ в таблице
Песок очень крупный и крупный*	2000-1000	VeryCoarse_CoarseSand
Песок крупный и средний	1000-250	CoarseSand_MediumSand
Песок мелкий	250-50	FineSand
Пыль крупная	50-10	CoarseSilt
Пыль средняя	10-5	MediumSilt
Пыль мелкая	5-1	FineSilt
Ил	<1	ClayRus

Примечание:

*здесь имеется в виду гравий (по Н.А. Качинскому, 1965), соответствующий размерам очень крупного и крупного песка по IUSS Working Group WRB (2015).

Разбор алгоритма расчетов и построение диаграммы будут произведены на примере гранулометрического состава чернозема южного солонцеватого (Haplic Chernozem), описание которого опубликовано в книге «Почвы Кулундинской степи» (1967).¹

Алгоритм действий

1. Загрузка данных в программу RStudio. Зеленым цветом обозначены части кода, которые можно изменить согласно инструкции к пакетам.

¹ Скачать таблицу на персональный компьютер можно по ссылке:

https://soils-journal.ru/public/site/images/redactor/136/Chernozem_uzhnyi.xlsx

```
1.1 #Установка пакета для загрузки данных из файлов в формате *.xlsx
install.packages('readxl', , repos = "http://cran.us.r-project.org")
```

```
1.2 #Запуск пакета
library(readxl)
```

1.3 # Загрузка файла, подготовленного в формате *.xlsx, в таблицу под названием "Soil". Таблицу можно назвать любым именем, но в этом случае ниже необходимо изменить слово "Soil" на ваш вариант.

```
Soil<- read_excel("C:/Users/Denis/Desktop/Ternary plots/R/Chernozem_uzhnyi.xlsx")
```

```
1.4 #Просмотр загруженных данных
View(Soil)
```

Для удобства работы рекомендуется указать директорию, которая будет автоматически открываться при загрузке данных и сохранении результатов расчета или рисунков.

```
# Проверка директории, где будут сохраняться результаты расчётов
getwd()
```

```
# Назначение директории, где будут сохраняться результаты расчётов
setwd("C:/Users/Denis/Desktop/Ternary plots/R")
```

2. Расчёт содержания фракций CLAY, SILT, SAND по формуле Е.В. Шеина

В алгоритме использована формула (1) (Шеин, 2009). Но если необходимо применение другой формулы, то требуется модифицировать код.

После загрузки данных выполняется расчёт содержания фракций CLAY, SILT и SAND.

```
# С помощью символа присвоения "<-" указываем как будут называться наши переменные в расчетах и какие данные столбцов таблицы "Soil" соответствуют этим переменным. Используя символ "$", выбираем нужный столбец из таблицы "Soil".
```

```
2.1. # Расчет фракции CLAY (<2 мкм)
FineSilt <- Soil$FineSilt #фракция 5-1 мкм
#  $\Phi_{<0.002}=0.57\Phi_{<0.001}+0.43\Phi_{<0.005}$ 
ClayRus<-0.57*Soil$ClayRus
SiltRus<-0.43*FineSilt
CLAY<-(ClayRus+SiltRus)
#Просмотр результатов расчета содержания фракции CLAY (< 2 мкм)
CLAY
```

В итоге в консоли получаем вектор с результатами расчета содержания фракции CLAY:

```
#[1] 27.830 28.511 30.347 24.708 24.200 24.166 20.850
```

```
2.2 # Расчет фракции SAND (50-2000 мкм)
```

```
# С помощью символа присвоения "<-" указываем как будут называться наши переменные в расчетах и какие данные столбцов таблицы "Soil" соответствуют этим переменным. Используя символ "$", выбираем нужный столбец из таблицы "Soil"
```

```
CoarseSand_MediumSand <- Soil$CoarseSand_MediumSand #фракция 1000-250 мкм
FineSand <- Soil$FineSand #фракция 250-50 мкм
VeryCoarse_CoarseSand <- Soil$VeryCoarse_CoarseSand #фракция 2000-1000 мкм
```

```
# фракция 50-2000 мкм
SAND <- (CoarseSand_MediumSand+FineSand+VeryCoarse_CoarseSand)
#Просмотр результатов расчета содержания фракции SAND (50-2000 мкм)
SAND
```

В консоли появляется вектор с результатами расчета содержания фракции SAND:

```
#[1] 7.9 8.0 4.7 22.6 23.0 20.6 32.6
```

```
2.3. # Расчет фракции SILT (2-50 мкм)
```

```
# фракция 2-50 мкм
SILT <- (100-SAND-CLAY)
```

```
#Просмотр результатов расчета содержания фракции SILT (2-50 мкм)
SILT
```

Вектор с результатами расчета содержания фракции SILT:

```
#[1] 64.270 63.489 64.953 52.692 52.800 55.234 46.550
```

3. После получения расчетным способом содержания фракций приступаем к построению треугольника Ферре и определению гранулометрических классов образцов почвы. Для этого могут быть использованы пакеты “soiltexture” (3.1), “plotrix” (3.2) или ggtern (3.3).

```
3.1 #Установка и запуск пакета "soiltexture" для определения гранулометрических классов образцов
почвы. Установка производится единожды.
```

```
#Руководство: https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture\_vignette.pdf
```

```
install.packages('soiltexture', repos = "http://cran.us.r-project.org")
```

```
#Запуск пакета "soiltexture"
library(soiltexture)
```

```
#3.1.1. Создание таблицы с результатами расчетов элементарных почвенных частиц
```

```
particle_soil1 <- data.frame(CLAY, SILT, SAND)
```

```
3.4 #Просмотр таблицы
```

```
particle_soil1
```

```
#   CLAY   SILT  SAND
#1 27.830 64.270  7.9
#2 28.511 63.489  8.0
#3 30.347 64.953  4.7
#4 24.708 52.692 22.6
#5 24.200 52.800 23.0
#6 24.166 55.234 20.6
#7 20.850 46.550 32.6
```

```
#Создание сводной таблицы с обозначение образцов, их глубин и содержанием фракций
table.all <- data.frame(Soil$Horizon, Soil$SampleID, Soil$Depth, SAND, SILT, CLAY)
```

```
#Просмотр сводной таблицы
```

```
table.all
```

```
# Soil.Horizon Soil.SampleID Soil.Depth SAND   SILT   CLAY
#1           A             7      10-20  7.9 64.270 27.830
#2           A             6      10-20  8.0 63.489 28.511
#3           A             5      25-35  4.7 64.953 30.347
#4           B             4      70-80 22.6 52.692 24.708
#5           B             3     110-120 23.0 52.800 24.200
#6           C             2     150-160 20.6 55.234 24.166
#7           C             1     188-195 32.6 46.550 20.850
```

Для экспорта сводной таблицы необходимо воспользоваться функцией write.table() с указанием названия, формата файла (*.txt) и места его сохранения. Экспортируемый файл можно открыть в любом табличном редакторе и использовать для публикации.


```
#Экспорт таблицы в файл *.txt с разделителем табуляции
write.table(table.all,
"C:/Users/Denis/Desktop/Ternary plots/R/Table.all.txt", sep="\t", row.names=FALSE)
```

С помощью функции *TT.plot()* создаем треугольник гранулометрических классов почв, где в качестве аргумента *class.sys = ""*, указывается национальная классификация гранулометрических классов почв, а в *tri.data = , -* источник данных. В пакете "soiltexture" возможно определение гранулометрических классов почв согласно двадцати одного вида национальных классификаций (рис.2.). В международной классификации принято использовать диаграмму Ферре Департамента сельского хозяйства США (USDA).

```
3.1.2. #Построение треугольника гранулометрических классов почвы
TT.plot(class.sys = "USDA.TT", #Выбор классификации
tri.data = particle_soil1, #Источник данных
main = "Soil texture triangle", #Название диаграммы
sex.axis = 1) #Размер шрифта подписи осей
```

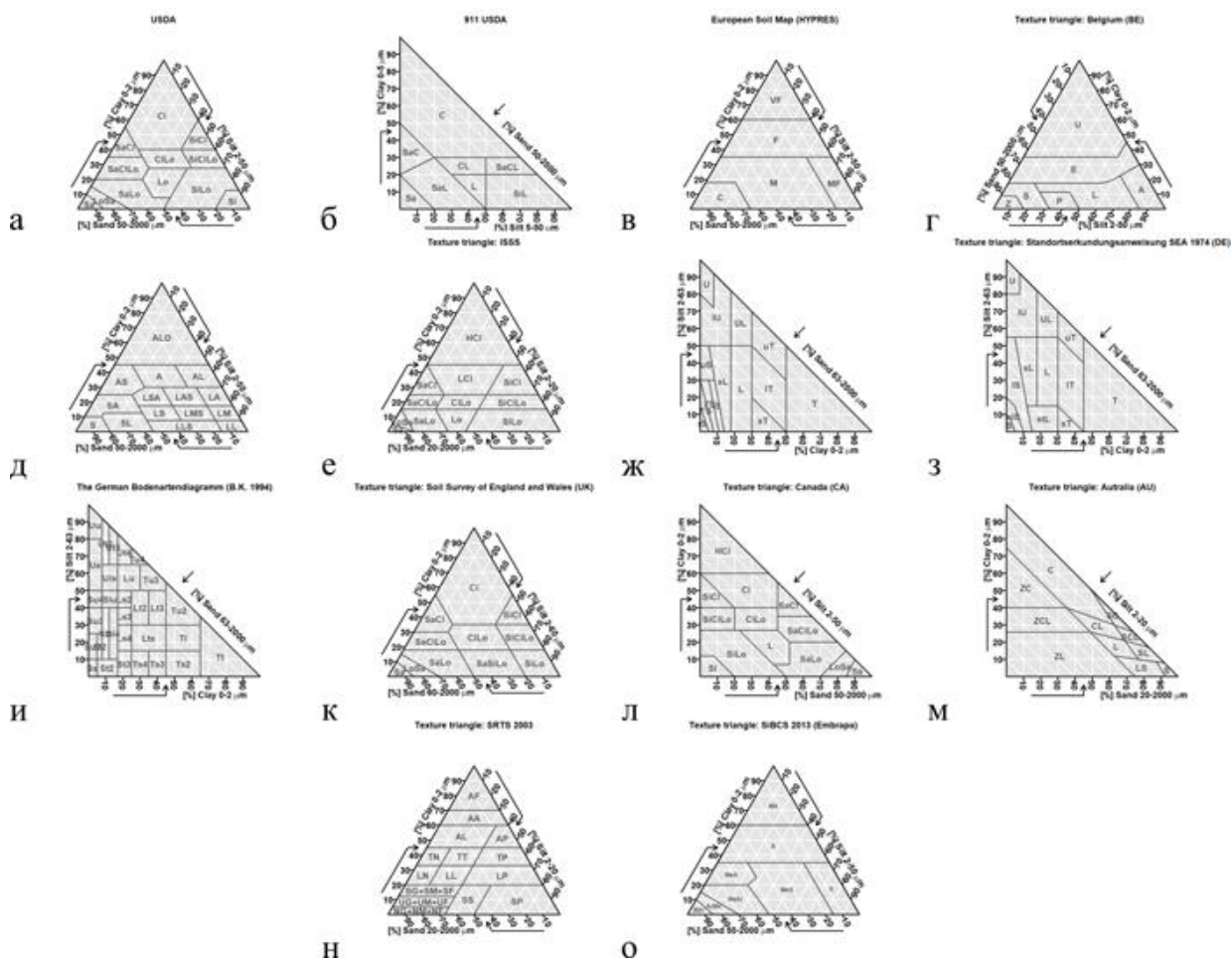


Рисунок 2. Треугольники Ферре национальных классификаций гранулометрических классов почв, реализованные в пакете "soiltexture" (по, Moeys, 2018): а – USDA (США); б – USDA 1911 (США); в – European Soil Map; г – Бельгия; д – ‘Aisne’ (Франция); е – International Soil Science Society; ж – ‘landwirtschaftliche Böden’ (Германия); з – Standorterkundungsanweisung’ (SEA 1974) (Германия); и – Bodenartendiagramm (BK 1994) (Германия); к – Soil Survey of England and Wales texture triangle (Великобритания); л – Канада; м – Австралия; н – Румыния; о – Бразилия.

При наличии результатов прямых измерений содержания пылеватой фракции размером 63-2 мкм возможно изменение диаграммы Ферре USDA с новой градацией (2000-63-2 мкм). Для этого необходимо запустить следующий код:

3.1.3. #Изменение градации фракции SILT с 50 на 63 мкм

Шаг 1.

USDA63 <- TT.get("USDA.TT")

USDA63[["base.css.ps.lim"]]

USDA63[["tri.css.ps.lim"]]

Шаг 2.

USDA63[["base.css.ps.lim"]][3] <- 63

USDA63[["tri.css.ps.lim"]][3] <- 63

TT.add("USDA63.TT" = USDA63)

Шаг 3. Построение обновленного треугольника гранулометрических классов почвы

TT.plot(

class.sys = "USDA63.TT",

Построение треугольника гранулометрических классов почвы USDA с границей между SAND и SILT 63 мкм

main = "Новая диаграмма",

#Название диаграммы

cex.axis = 1)

#Размер шрифта подписи

#Треугольник сохраняется только на время сессии, т.е. до закрытия RStudio

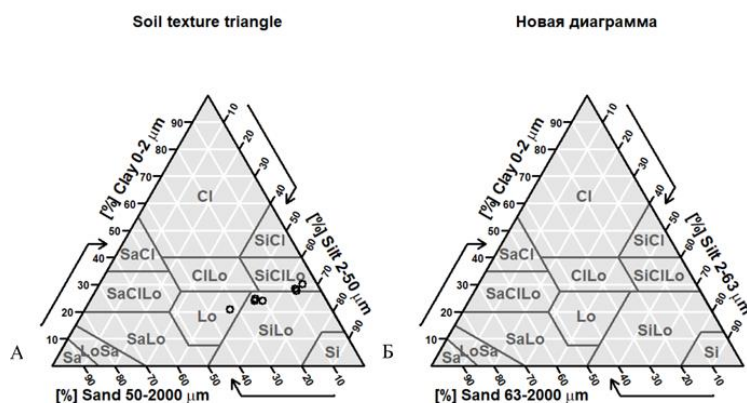


Рисунок 3. Треугольники Ферре гранулометрических классов почв: А – классификация USDA с границей между SAND и SILT 50 мкм; Б – согласно IUSS Working Group WRB (2015) с границей между SAND и SILT 63 мкм.

#3.1.4. Оформление диаграммы "Soil texture triangle"

#Раскрашивание текстурных квалификаторов почв согласно IUSS Working Group WRB (2015)

TT.plot(class.sys = "USDA63.TT",

#Треугольник гранулометрических классов почвы

tri.data = particle_soil1,

USDA с границей между SAND и SILT 63 мкм

class.p.bg.col

#Источник данных

c("red", "red", "red", "green", "green", "green", "green", "green", "cyan", "gold", "gold"),

#Цвета областей гранулометрических классов

pch = 23,

#Вариант 1. Тип маркера для всех образцов

#pch = c(1:7),

#Вариант 2. Индивидуальный маркер для каждого

образца. Удалите знак “#” и поставьте его перед

предыдущей строкой кода.

cex = 2,

#Размер маркера

col = "blue",

#Вариант 1. Цвет образцов

#col = c(1:7),

#Вариант 2. Индивидуальные цвета для каждого

образца

main = "Soil texture triangle",

#Название диаграммы

cex.axis = 1)

#Размер шрифта подписи

Список доступных цветов можно найти по ссылке: <http://www.stat.columbia.edu/~tzheng/files/Rcolor.pdf>

```
#Подписи образцов
geo<-TT.plot(class.sys = "USDA63.TT",
class.p.bg.col=c("red","red","red","green","green","green","green","cyan","green","cyan","gold","gold"))

TT.text(tri.data = particle_soil1,
      geo       = geo,
      labels    = Soil$SampleID,           #Источник для подписей: столбец 'SampleID' из
                                           #таблицы 'Soil'
      font      = 1,                       #Размер шрифта
      col       = "black"                 #Цвет шрифта
    )
```

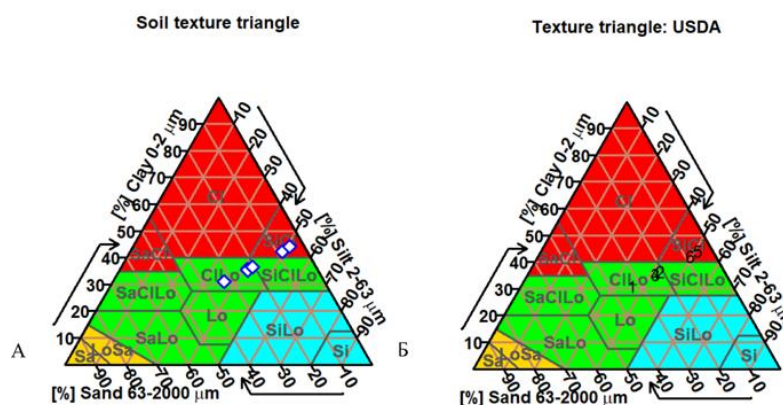


Рисунок 4. Диаграммы гранулометрических классов почв с границей между SAND и SILT 63 мкм и цветными областями гранулометрических квалификаторов согласно IUSS Working Group WRB (2015). Образцы обозначены на диаграмме: А – формой; Б – порядковым номером.

Следующая возможность построения диаграммы Ферре реализована в пакете "plotrix". Пакет не разрабатывался специально для классификации почв по гранулометрическому составу, поэтому не обладает той широкой возможностью, что пакет "soiltexture" в реализации национальных классификаций гранулометрических классов почв.

```
#3.2. Пакет "plotrix"
#Установка и запуск пакета "plotrix" для определения гранулометрических классов образцов почвы.
Установка производится единовременно.

install.packages("plotrix", repos = "http://cran.us.r-project.org")

#Запуск пакета "plotrix"
library("plotrix")
```

Полученные расчеты по содержанию фракций SAND, SILT и CLAY на этапе (2), необходимо объединить в единую таблицу, в которой названия фракций будут написаны прописными буквами.

```
#3.2.1. Создание таблицы с результатами расчетов элементарных почвенных частиц

particle_soil2 <- data.frame(SAND, SILT, CLAY)

names(particle_soil2)[1]<- 'sand'      # Переименование первого столбца
names(particle_soil2)[2]<- 'silt'     # Переименование второго столбца
names(particle_soil2)[3]<- 'clay'    # Переименование третьего столбца

#Просмотр таблицы
particle_soil2
```

```

# sand silt clay
#1 7.9 64.270 27.830
#2 8.0 63.489 28.511
#3 4.7 64.953 30.347
#4 22.6 52.692 24.708
#5 23.0 52.800 24.200
#6 20.6 55.234 24.166
#7 32.6 46.550 20.850

```

#3.2.2. Построение треугольника текстурных классов почвы

#Руководство: <https://cran.r-project.org/web/packages/plotrix/plotrix.pdf>

```

TernaryPlot2 <- soil.texture(soiltexture=particle_soil2, #Источник данных
  main="Soil texture triangle", #Название диаграммы
  at=seq(0.1, 0.9, by=0.1),
  axis.labels = c("Sand (%)", "Silt (%)", "Clay (%)"),
  tick.labels = list(l=seq(10, 90, by=10), r=seq(10, 90, by=10),
    b=seq(10, 90, by=10)),
  show.names = TRUE, # Отображение названий классов почв
  show.lines = TRUE, # Отображение границ между классами почв
  col.names = "gray", # Цвет надписей классов почв
  bg.names = par("bg"), # Расположение надписей классов почв
  show.grid = TRUE, # Отображение сетки на диаграмме
  col.axis = "black", # Цвет осей
  col.lines = "gray", # Цвет сетки классов почвы
  col.grid = "gray", lty.grid=3, # Цвет и размер сетки на диаграмме
  show.legend = FALSE, # Отображение легенды
  label.points = TRUE, # Отображение порядкового номера образца
  # в таблице
  point.labels = NULL, # Название образцов согласно их порядкового
  # номера
  col.symbols = "black", # Цвет надписи порядкового номера образца
  pch = 21, # Форма маркера
  cex = 2, # Размер маркера
  bg = "red", # Цвет маркера
  lwd = 1) # Ширина линии обводки маркера

```

Soil texture triangle

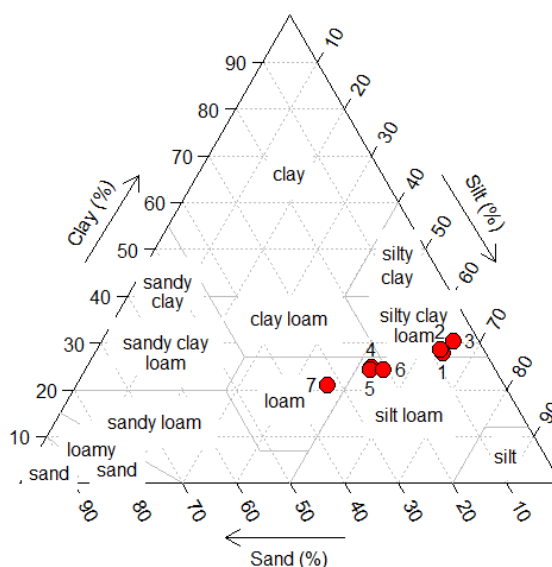


Рисунок 5. Треугольник Ферре гранулометрических классов почв согласно IUSS Working Group WRB (2015), созданный с помощью пакета “plotrix”.

Пакет "ggtern" является расширением, созданным на основе популярного графического пакета "ggplot2". Пакет имеет широкие возможности по построению диаграммы Ферре (triangle plot) и визуализации результатов определения содержания гранулометрических фракций.

#3.3. Пакет "ggtern"

#Установка и запуск пакета "ggtern" для определения гранулометрических классов образцов почвы. Установка производится единожды.

```
install.packages("ggtern", repos = "http://cran.us.r-project.org")
install.packages("plyr", repos = "http://cran.us.r-project.org")
install.packages("grid", repos = "http://cran.us.r-project.org")
```

#Запуск пакетов

```
library(ggtern)
library(plyr)
library(grid)
```

#3.3.1. Построение треугольника текстурных классов почвы

#Руководство: <https://cran.r-project.org/web/packages/ggtern.pdf>

#Официальный сайт разработчика: <http://www.ggtern.com/2014/01/15/usda-textural-soil-classification/>

Загрузка сетки USDA.

```
data(USDA)
```

Подпись текстурных классов почвы на диаграмме.

```
USDA.LAB = ddply(USDA, 'Label', function(df){
  apply(df[, 1:3], 2, mean)
})
```

Настройка диаграммы

```
USDA.LAB$Angle = 0
USDA.LAB$Angle[which(USDA.LAB$Label == 'Loamy Sand')] = -35
```

Конструирование диаграммы.

```
ggtern(data = USDA, aes(y=Clay, x=Sand, z=Silt)) +
  coord_tern(L="x", T="y", R="z") +
  geom_polygon(aes(fill = Label),
    alpha = 0.75, size = 0.5, color = 'black') +
  geom_text(data = USDA.LAB,
    aes(label = Label, angle = Angle),
    color = 'black',
    size = 3.5) +
  theme_rgbw() +
  theme_clockwise() +
  theme_showsecondary() +
  theme_showarrows() +
  custom_percent("Percent") +
  theme(legend.justification = c(0, 1),
    legend.position = c(0, 1)) +
  guides(fill = FALSE)+
  ggtitle("Soil texture triangle") # Название диаграммы
```


#3.3.2. Конструирование таблицы с результатами расчетов элементарных почвенных частиц

```
particle_soil3 <- data.frame(CLAY, SAND, SILT)
```

```
#Просмотр таблицы
particle_soil3
```

```
#   CLAY SAND  SILT
#1 27.830  7.9 64.270
#2 28.511  8.0 63.489
#3 30.347  4.7 64.953
#4 24.708 22.6 52.692
#5 24.200 23.0 52.800
#6 24.166 20.6 55.234
#7 20.850 32.6 46.550
```

#3.3.3. Нанесение экспериментальных измерений содержания элементарных частиц почвы на диаграмму

```
TernaryPlot3 <- data.frame(SAND=rrunif(10),SILT=rrunif(10),CLAY=rrunif(10))
```

```
last_plot() + geom_point(data=particle_soil3,
  aes(y=CLAY,x=SAND,z=SILT),
  shape = 19,
  colour = "red",
  #Источник данных
  #Присваивание координат переменным
  #Вид маркер
  #Цвет маркер
```

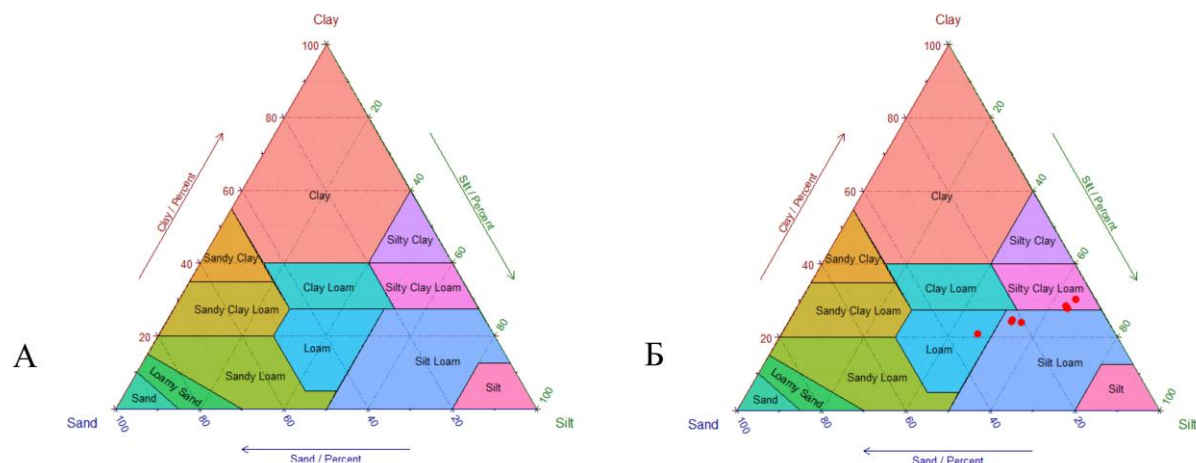


Рисунок 6. Треугольники Ферре гранулометрических классов почв согласно IUSS Working Group WRB (2015), созданные с помощью пакета “ggtern”.

#Если необходимо на диаграмме разместить один образец, то нужно в источнике данных указать конкретную строку из таблицы

```
last_plot() + geom_point(data=particle_soil3[1,],
  aes(y=CLAY,x=SAND,z=SILT),
  shape = 19,
  colour = "red",
  size = 3)
#Источник данных - первая строка из таблицы
#Присваивание координат переменным
#Вид маркер
#Цвет маркер
#Размер маркер
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный вариант автоматизированного перевода размерности элементарных почвенных частиц по классификации Н.А. Качинского (1965) в Международную классификацию (IUSS Working Group WRB, 2015) с помощью одной из регрессивных формул Е.В. Шеина (2009) в среде R позволяет

быстро провести сравнительный анализ текстурных классов образцов почв и визуализировать результаты определения гранулометрического состава. Исследователь получает возможность представить в своих публикациях результаты анализов в табличном формате или с помощью диаграммы Ферре. Кроме того, опыт работы с языком R позволит в дальнейшем расширить арсенал методов исследования за счет получения возможности проведения статистической обработки данных без привлечения стороннего дорогостоящего программного обеспечения.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа подготовлена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

ЛИТЕРАТУРА

Методика расчета качественного показателя государственного задания "Комплексный балл публикационной результативности" для научных организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, на 2020 г. Москва, Минобрнауки РФ. 25. 08. 2020 г.

Почвы Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1967. 289 с.

Качинский Н.А. *Физика почв.* Ч.1. М.: Наука, 1965. 321 с.

Шейн Е.В. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификаций // *Почвоведение.* 2009. №3. С. 309–317.

Moeys J. The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. 2018. 104.

IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps (2015) update 2015. World Soil Resources Reports. Rome: FAO.

Поступила в редакцию 07.05.2021

Принята 09.06.2021

Опубликована 13.06.2021

Сведения об авторе:

Гаврилов Денис Александрович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); gavrilov@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

USING R-SOFTWARE FOR CLASSIFICATION OF SOIL GRANULOMETRY CLASSES AND CREATING THE FERRERS DIAGRAMS

© 2021 D.A. Gavrilov 

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: gavrilov@issa-siberia.ru

*The article describes a detailed algorithm to recompute the size of the elementary soil particles obtained by Kachinsky technique (a method conventionally used by Russian soil scientists) into the international granulometric size distribution pattern of 2000-50-2 μm using the formula introduced by E.V. Shein in 2009. The article also describes step-by-step procedures to create Ferrers diagrams using the *soiltexture*”, *plotrix*” u *ggtern*” packages in R environment. One of the advantages of R software is its free distribution and usage, vast range of options for the diagram settings, and, in the process of doing so, accruing the experience of working with a very popular language for statistical analysis and data visualization.*

Key words: particle soil size; Ferrers diagram; R; texture soil classes

How to cite: Gavrilov D.A. Using R-software for classification of soil granulometry classes and creating the Ferrers diagrams // *The Journal of Soils and Environment.* 2021. 4(1). e136. doi: [10.31251/pos.v4i1.136](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.136) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Methodology* for calculating the qualitative indicator of the state assignment "Comprehensive score of publication performance" for scientific organizations subordinate to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, for 2020 Moscow, December 30, 2019 (in Russian)
- Soils of the Kulunda steppe*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1967. 289 p. (in Russian)
- Kachinskiy N.A. Soil physics. Part 1. Moscow: Nauka Publ., 1965. (in Russian)
- Shein E.V. Granulometric composition of soils: methods of laser diffraction and sedimentometry, their comparison and use, *Pochvovedenie*, 2009, No3, p.309–317. (in Russian)
- Moeys J. The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. 2018, 104.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps (2015) update 2015. World Soil Resources Reports. Rome: FAO.

Received 07 May 2021

Accepted 09 June 2021

Published 13 June 2021

About the author:

Gavrilov Denis A. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Geography and Soil Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); gavrilov@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



МИКРОБИОМ ПОЧВЫ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ВНЕСЕНИИ КОМПОСТА ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА

© 2021 Н.Б. Наумова¹ , Е.Н. Ручко², О.А. Савенков¹ , В.И. Плешакова²

¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: savenkov@issa-siberia.ru, naumova@issa-siberia.ru

²ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Институтская площадь, д.1, г. Омск, Россия. E-mail: vi.pleshakova@omgau.org

Цель исследования: Проанализировать опубликованные результаты исследований микробиома куриного помета, компоста на основе такого помета, а также почвы и растений после внесения компоста в качестве удобрения.

Методология. Поиск опубликованных результатов в международной (PubMed) и российской (elibrary.ru) базах данных, по ключевым словам, соответствующим цели настоящего обзора.

Основные результаты. Полученные с помощью методов высокопроизводительного секвенирования результаты исследований микробиома куриного помета установили, что в кишечном микробиоме кур доминируют бактерии, относящиеся к типам Firmicutes и Bacteroidetes; в некоторых региональных популяциях кур наиболее часто встречающимися родами являются Clostridium, Lactobacillus, Eubacterium, Bacteroides, Escherichia, Prevotella, Selenomonas, Streptococcus, Megasphaera, Fusobacterium и Bifidobacterium. Однако в птичьем помете могут встречаться бактерии, несущие гены резистентности к антибиотикам, которые активно используют в птицеводстве с целью увеличения продукции. Компостирование является безвредным для окружающей среды путем трансформации различных органических отходов в органические удобрения, ставшим особенно актуальным в настоящее время в связи с ростом отходов птицеводства: в последнее время увеличилось число и детальность исследований, посвященных компостированию птичьего помета (времени, гидротермических условий, состава, используемых микробиологических препаратов, обилия генов АБР и т.п.). Результаты пока еще относительно немногочисленных работ по изменению почвенного бактериобиома и фитобиома сельскохозяйственных культур под влиянием внесения компоста на основе куриного помета в качестве удобрения привели к неоднозначным выводам как о положительном влиянии, так и об отсутствии такового. Эта неоднозначность зависит от многих факторов – от вида, породы, возраста, технологии выращивания птиц, технологии компостирования, культуры и сорта сельскохозяйственных растений, технологии их возделывания и специфики почвенного субстрата.

Заключение. Куриный помет содержит разнообразный в таксономическом плане микробиом, который может изменяться при компостировании. Среди богатого видового состава помета и компоста на его основе могут содержаться бактерии, несущие гены антибиотикорезистентности (АБР). Распространение составляющих таких компостных резистомов в окружающей среде при внесении компоста в почву сельскохозяйственных экосистем в настоящий момент можно определить как нарастающую угрозу эффективности применения антибиотиков для лечения инфекционных заболеваний в медицине и ветеринарии. Оценка рисков и масштабов этой угрозы, а также в целом патомикробиотической нагрузки в подстилочном компосте современными метагеномными методами требуют изучения в связи с активным ростом производства в птицеводстве. Наибольшую озабоченность в плане распространения генов АБР вызывает их проникновение в товарные части растениеводческой продукции, употребляемой в сыром виде; в связи с этим особое внимание, наряду с удобренной пахотной почвой как источником пыли, необходимо уделять исследованию компонентов фитобиома сельскохозяйственных культур, выращиваемых при внесении компостов помета с птицефабрик, где производство ведут с применением антибиотиков.

Ключевые слова: птичий подстилочный помет; компостирование помета; резистом; кишечный микробиом; микробиом почвы

Цитирование: Наумова Н.Б., Ручко Е.Н., Савенков О.А., Плешакова В.И. Микробиом почвы и сельскохозяйственных культур при внесении компоста куриного помета // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 1. e141. DOI: [10.31251/pos.v4i1.141](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.141)

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное птицеводство ставит много серьезных проблем. В 2019 г. поголовье кур в России составило 497 395 тыс. (FAOSTAT, 2021a); увеличившись с 2014 г. на 11%. Тысяча цыплят-бройлеров в день производит 65 кг помета, а такое же поголовье кур-несушек – 150 кг (Drózd et al., 2020). Птичий помет богат азотом, содержит значительные количества фосфора, калия и других элементов (Wan et al., 2021); его можно вносить в почву для улучшения ее свойств и повышения плодородия (Bolan et al., 2010). По данным, опубликованным на сайте Всемирной продовольственной организации ООН, в России в 2018 г. в почву было внесено 210 тысяч тонн азота с пометом, полученным при производстве бройлеров и яиц (FAOSTAT, 2021b). Возрастающее во всем мире количество куриного помета требует значительных усилий по его транспортировке, хранению и дальнейшей переработке, например, при производстве пеллетированных удобрений (López-Mosquera et al., 2008) и компостировании (Liu et al., 2020). В тех странах, где площади земель для внесения птичьего помета или компоста ограничены, предпринимаются значительные усилия по поиску и разработке приемов и технологий переработки птичьего помета (очистки, обогащения, производства биочара и т.п.) (Курынцева и др., 2020), как, например, в Польше, являющейся лидером среди стран Европейского союза по производству продукции птицеводства (Drózd et al., 2020).

Бесконтрольное применение куриного помета может привести к росту поступления метана, двуокси углерода и аммиака в атмосферу, а также может быть опасно для почвы и водоемов. Опасность заключается не только и, может быть, даже не столько в избыточном поступлении питательных элементов и патогенных микроорганизмов, сколько в попадании в окружающую среду и распространении генов антибиотикорезистентности (АБР) и остаточных количеств антибиотиков (Данилова и др., 2019; Iwu et al., 2020; Wu et al., 2020), поскольку для производства все больших и больших количеств птичьего мяса антибиотики применяют в беспрецедентных масштабах (Manikandan et al., 2020), и к 2030 году, как прогнозируют (Kuppusamy et al., 2018), употребление антибиотиков возрастет на 67%. Гены АБР по пищевой цепи (World ..., 2017) могут попасть в организм человека и, вызвав дисбаланс его микробиоты (Sood et al., 2019), привести к нарушению здоровья и заболеваниям (Orazo et al., 2018; Ogunrinola et al., 2020).

В связи с этим во всех странах существуют законодательные нормы и правила, регулирующие подготовку птичьего помета к применению в качестве удобрения и мелиоранта. В России соответствующий стандарт был впервые разработан в 2012 г. (Федеральное агентство..., 2012) и введен в действие в 2013 г. В соответствии с этим стандартом подстилочный помет использовать под все сельскохозяйственные культуры при оптимизации доз внесения, а подстилочный помет, помет от молодняка и органические смеси, полученные на пометной основе, разрешает использовать в земледелии при условии обеспечения дозированного и равномерного внесения по поверхности полевых площадей. Помет птиц также разрешено использовать в качестве основного наполнителя для получения смесей при производстве органических удобрений (компостов, верми- и биокомпостов) и как ингредиент при подготовке питательных грунтов для выращивания рассады овощных и зеленных культур в тепличных хозяйствах, цветочных оранжереях, в индивидуальном садоводстве и огородничестве. В соответствии с этим ГОСТом время хранения помета на буртовых площадках неограничено, очевидно, однако, что длительное хранение означает увеличение площадей, отчужденных для этой цели, и ведет к снижению площадей для производства растениеводческой продукции.

В России, с ее большими площадями сельскохозяйственных угодий и необходимостью дальнейшего увеличения сельскохозяйственного производства в целях обеспечения продовольственной безопасности, потенциал применения птичьего помета в качестве удобрения площадями практически неограничен. Однако он может быть ограничен средне- и долгосрочными отрицательными последствиями для почвенных и водных экосистем. Вышеуказанный стандарт нормирует санитарно-бактериологические показатели по ряду микроорганизмов, в том числе бактериям группы кишечных палочек и энтерококков. Но этими группами кишечная микробиота птиц не ограничивается; хотя их нормирование очень важно с практической точки зрения, необходимо более полное понимание состава, структуры и функций микробных ансамблей помета. Как и во многих других областях, это стало возможным с появлением высокопроизводительных систем секвенирования нуклеотидных последовательностей: применение таких систем привело к значительному всплеску метагеномных исследований в самых разных областях, в том числе в области изучения микробиома в птичьем помете (Borda-Molina et

al., 2018) и компосте (Li et al., 2021), а также в области изучения изменений микробиома почвы и растений при внесении удобрений и/или мелиорантов, произведенных на основе птичьего помета.

Целью настоящей работы являлась попытка представления и обобщения имеющихся в литературе данных по биоразнообразию микробиомов птичьего помета, компоста, полученного на его основе, и по изменению микробиома почвы и сельскохозяйственных культур под влиянием внесения компоста. Подчеркнем, что для Новосибирской области это особенно актуально, так как поблизости от областного центра расположено несколько птицефабрик, производство на которых следует за общемировым трендом, т.е. возрастает с каждым годом по всем компонентам биологической продукции, от товарной части до помета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология. В качестве материалов для исследования мы взяли литературные источники, полученные в результате проведения поиска по ключевым словам «chicken manure microbiome» (59 источников), «chicken compost microbiome» (21 источник), «chicken compost soil microbiome» (13 источников) и «chicken manure soil microbiome» (26 источников) в библиографической базе данных PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), которая включает более 32 млн ссылок на публикации в сфере науки о жизни. В российской электронной библиотеке по ключевым словам «птичий помёт», «куриный помёт» и «микробиом почвы» было найдено шесть источников, три из которых приведены в этом обзоре.

Терминология. В соответствии с определением, предлагаемым одноименным журналом, термин «микробиом» относится «к целостному местообитанию, в том числе микроорганизмам (бактериям, археям, низшим и высшим эукариотам, вирусам), их геномам (генам) и окружающим экологическим условиям» (Marchesi, Ravel, 2015). Под «бактериобиомом» мы понимаем, соответственно, местообитание в совокупности с бактериями (их генами), а термином «фитобиом» обозначаем местообитание микроорганизмов в пределах растения в совокупности со всеми микроорганизмами, населяющими растение, и их генами. Однако в публикационной практике рассмотрение всех групп микроорганизмов является исключением, а не правилом. При этом авторы рассматривают не организмы как таковые, а совокупности нуклеотидных последовательностей тех или иных генов, чаще всего используя термин «микробиом» для обозначения ансамбля филогенетически и таксономически значимых последовательностей бактерий, т.е. генов 16S рРНК. Термин «резистом» используют для обозначения совокупности последовательностей генов устойчивости к антибиотикам, выявленной в компонентах окружающей среды. Заметим, что в данной терминологии очевидны разные линии терминообразования: в случае «микробиом», «бактериобиом» и «фитобиом» одним из составляющих корней является «биом» как совокупность экосистем одной природно-климатической зоны (Балахонов, 2017). Из этого понятно, откуда в определении микробиома появились слова об окружающих экологических условиях. Однако в образовании термина «резистом», так же, как и в терминах «геном», «вириом», участвует суффикс «-ом», обозначающий объединение частей в целое.

Сокращения. АБР – антибиотикорезистентность.

МИКРОБИОТА КУРИНОГО ПОМЕТА И КОМПОСТА

В настоящее время не подлежит сомнению, что кишечная микробиота птиц, как и у млекопитающих, в том числе кур, является важным фактором кишечного гомеостаза и нормального метаболизма организма животного-хозяина (Borda-Molina et al., 2018; Diaz-Carrasco et al., 2019; Oviedo-Rondón, 2019). Жизнедеятельность кишечной микробиоты оказывает в целом значительное влияние на физиологию и здоровье сельскохозяйственных животных, а, следовательно, на количество и качество товарной продукции (Yegani, Korver, 2008; Rintilä, Arajalahti, 2013). Как у человека и других млекопитающих, в кишечном микробиоме кур доминируют бактерии, относящиеся к типам *Firmicutes* и *Bacteroidetes* (Oakley et al., 2014). Микробиом кишечника цыплят-бройлеров в возрасте 42 дней состоит в основном из *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Cyanobacteria*, с некоторым варьированием по различным отделам кишечника, но представители типа *Firmicutes* являются главным доминантом с более чем 60% относительного обилия последовательностей (Xiao et al., 2017; Huang et al., 2018). На уровне рода основными представителями в кишечнике бройлеров в последнем исследовании являлись *Lactobacillus*, *Enterococcus* (оба рода относятся к типу *Firmicutes*), *Bacteroides* (тип *Bacteroidetes*) и

Corynebacterium (тип *Actinobacteria*). В общем, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Eubacterium*, *Bacteroides*, *Escherichia coli*, *Prevotella*, *Selenomonas*, *Streptococcus*, *Megasphaera*, *Fusobacterium* и *Bifidobacterium* являются наиболее часто встречающимися таксонами в кишечном микробиоме кур (Iqbal et al., 2020). Также обычными представителями являются и патогенные бактерии *Clostridium* sp. у молодых птиц и *E. coli*, *Campylobacter* и *Salmonella* у взрослых здоровых птиц. Установлено, что *Campylobacter* отрицательно коррелирует с продуктивностью в связи с вызываемой ими повышенной скоростью преобразования корма (Awad et al., 2015). В целом, однако, многочисленными исследованиями установлено, что кишечная микробиота кур очень сложна и для выявления реальных взаимосвязей компонентов микробиоты с физиологическими особенностями птиц, например, эффективностью утилизации кормов, необходима детальная дифференциация бактерий до вида, подвида или даже штамма (Liu et al., 2021).

Изучение влияния различных кормовых добавок на состав кишечной микробиоты птиц находится в фокусе внимания исследователей уже долгое время. Например, хорошие перспективы применения бактерий рода *Bacillus* для конструирования новых пробиотических препаратов были выявлены довольно давно (Сорокулова, 1997), и в последнее время наблюдается всплеск исследований в этой области в связи с необходимостью эффективной замены антибиотикам, применяемым для стимулирования роста птиц (Franciosi et al., 2016; Mingmongkolchai, Panbangred, 2018; Liu et al., 2020; Park et al., 2020; Naumova et al., 2021). В настоящее время очень активно изучают возможности добавок различных пребиотиков (Patterson, 2003; Mingmongkolchai, Panbangred, 2018) и других соединений полифенолов (Lillehoj et al., 2018; Iqbal et al., 2020) с целью модификации микробиоты (Kogut, 2019).

Подчеркнем, что основным отходом птицеводства является не помет как таковой, а подстилка, на которой содержатся птицы: она представляет собой многокомпонентную смесь собственно помета, перьев, материала, использованного в качестве основы для подстилки, рассыпанного корма, лекарств и воды (Sanchuki et al., 2011). В подстилке, на которой содержатся птицы, может быть разнообразных патогенных организмов, представленных вирусами, бактериями, грибами, простейшими, гельминтами; есть антибиотики, гормоны роста, стимулирующие продукцию яиц и мяса, тяжелые металлы и пестициды (Kyakuwaire et al., 2019). Например, было выявлено, что в США 100% подстилок из-под бройлеров содержали *Escherichia coli*, несущую гены АБР к семи антибиотикам (Chen, Jiang, 2014), в том числе амоксициллину и тетрациклину, т.е. лекарствам, широко используемым в медицинской практике и в ветеринарной практике для других видов животных. Заметим, что информации об отличных от бактерий микробиотических составляющих подстилки очень мало и она разрознена (Kyakuwaire et al., 2019), поэтому ее обсуждение оставлено за рамками настоящего обзора.

Компостирование в принципе является безвредным для окружающей среды путем трансформации различных органических отходов в органические удобрения (Bolan et al., 2010). В последнее время в связи с ростом отходов птицеводства резко увеличилось число и детальность исследований, посвященных компостированию птичьего помета, а именно: времени и условий компостирования, рецептов состава, микробиологических препаратов и т.д. (Neher et al., 2013). Так, подробно было изучено влияние влажности исходного материала (Li et al., 2021), природы растительных остатков, используемых для компостирования (Бикташева и др., 2016; Wan et al., 2020), остатков молотого кофе (Emmanuel et al., 2017), микробных инокулятов (Бикташева и др., 2016), вентилирования (Chang et al., 2020) и т.д. Очень активно изучают влияние добавок различных микроорганизмов на эффективность компостирования. Недавно были опубликованы результаты исследования о влиянии микробного инокулята или зрелого компоста на основе куриного помета на динамику микробиома в процессе компостирования (Liu et al., 2020). Как внесение инокулята, так и внесение зрелого компоста повышало эффективность компостирования. При этом были выявлены основные бактериальные агенты компостирования, способствующие образованию соединений, схожих с гуминовыми кислотами (род *Thermicanus*) или фульвокислотами (род *Tepidimicrobium*), являющимися важными компонентами компостов. Все исследователи едины в своих выводах о том, что внесение микробных препаратов повышает эффективность компостирования, сокращая время созревания компоста (Wan et al., 2020; Li et al., 2021).

Физико-химические свойства и биоразнообразие компостов на основе помета в значительной степени зависят от типа питания животных: в компостах, произведенных на основе помета всеядных животных (свиней, кур) доминируют представители *Firmicutes* (Wan et al., 2021), при этом компостирование приводит к снижению биоразнообразия бактериобиома и

существенным сдвигам в его составе и структуре. Изучение микробиома довольно большого числа образцов компостов на основе птичьего помета из почти всех провинций Китая позволило сделать вывод о том, что, при всем разнообразии, основу компостных бактериобиомов составляют представители типа *Firmicutes*, несмотря на снижение их обилия в ходе компостирования (Subirats et al., 2020). В основном это бактерии, относящиеся к родам *Cerasibacillus*, *Atopostipes* и *Bacillus*, а также представители типа *Actinobacteria*, относящиеся к родам *Thermobifida*, *Actinomadura* и *Nocardiosis*; эти таксоны обнаружили в подавляющем большинстве (90%) изученных образцов компостов (Wang et al., 2020). Примечательно, что в среднем в этих образцах патогенные и/или потенциально патогенные бактерии, относящиеся в основном к *Helicobacter*, *Staphylococcus*, *Acinotobacter*, *Streptococcus*, *Mycobacterium* и *Enterococcus*, составили чуть более 1% обилия нуклеотидных последовательностей, т.е. относительно мало.

Компостирование снижает обилие генов АБР (Subirats et al., 2020); поэтому в настоящее время особенно активно изучают изменение генов АБР под влиянием различных приемов компостирования. Так, внесение небольшого количества глины может снижать концентрацию генов АБР в ходе компостирования (Awasthi et al., 2019). Установлено, что применение рисовой шелухи в качестве компостной основы может снижать обилие последовательностей генов АБР (для фторхинолоновых антибиотиков) за счет снижения обилия *Paenibacillaceae* и *Staphylococcaceae* (Zhang et al., 2019). Значительную озабоченность вызывает выявленное сравнительно недавно присутствие в курином помете *Escherichia coli*, способной продуцировать широкий спектр β -лактамаз – бактериальных ферментов, направленных на борьбу с часто применяемыми β -лактамными антибиотиками (пенициллины, цефалоспорины и др.). Показано, что существует несколько механизмов инактивации таких бактерий в процессе компостирования куриного помета, по крайней мере, в лабораторных условиях (Thomas et al., 2020). Исследования динамики таких бактерий при краткосрочном хранении в полевых условиях установили снижение численности при применении ряда технических приемов, направленных на повышение аэробности и температуры компостируемой среды (Siller et al., 2020). Что касается собственно остаточных количеств антибиотиков в помете, то исследования последних лет показали, что путем компостирования избавиться от них полностью нельзя (Dolliver et al., 2007).

Таким образом, куриный помет содержит разнообразный в таксономическом плане бактериобиом, который может изменяться при компостировании. Но как в собственно помете, так и в компостах на его основе, среди богатого видового состава могут встречаться бактерии, несущие гены антибиотикорезистентности. Распространение составляющих таких компостных резистомов в окружающей среде после внесения компоста в почву сельскохозяйственных экосистем в настоящий момент можно определить как пока еще плохо изученную, но нарастающую опасность в плане применения антибиотиков для лечения инфекционных заболеваний в медицине и ветеринарии.

МИКРОБИОМ/РЕЗИСТОМ ПОЧВЫ И РАСТЕНИЙ ПРИ ВНЕСЕНИИ В ПОЧВУ ПТИЧЬЕГО КОМПОСТА

Почва является самым богатым резервуаром биоразнообразия на планете. Как показали исследования на севере Италии, внесение в почву компоста, полученного на основе помета крупного рогатого скота, свиней или птиц, в целом не очень значительно влияло на микробиом почвы, но приводило к заметному увеличению обилия представителей типов *Firmicutes*, *Tenericutes* и *Cloacimonetes* (Laconi et al., 2021). Этот результат выглядит вполне ожидаемым на фоне огромного исходного разнообразия почвенного микробиома. Однако в трехлетних опытах на двух полях с контрастными по физико-химическим свойствам почвам при выращивании спаржи было выявлено, что нуклеотидные последовательности, относящиеся к типу *Bacterioidetes*, его классам *Flavobacteriia* (роды *Fluviicola* и *Flavobacteriia*) и *Sphingobacteriia* (род *Pedobacter*), а также последовательности, представляющие класс *Fibrobacteria* из типа *Fibrobacteres*, были в 2–4 раза более обильны в почве после внесения компостированного птичьего помета, по сравнению с компостированным навозом животных и контрольным вариантом без внесения (Neher et al., 2020). Примечательно, что в практике животноводства за рубежом куриный помет или компост вносят не только в пахотные почвы под однолетние культуры, но и на пастбища. Так, И. Янг с соавт. (Yang et al., 2019) показали, что после 13 лет внесения куриного помета в дозе 5,6 т/га на пастбища с доминированием пальчатника (*Cynodon dactylon* L. Pers.) в бактериобиоме почвы *Fragiudults* доминировали *Proteobacteria* (31% относительного обилия последовательностей), *Actinobacteria*

(29), *Verrucomicrobia* (9), *Firmicutes* (7), *Bacteroidetes* (6), *Planctomycetes* (5), *Chloroflexi* (4), *Gemmatimonadetes* (3) и *Saccharibacteria* (2). В том же исследовании показано, что внесение помета повышает разнообразие почвенного бактериобиома и может быть одним из механизмов повышения здоровья почвы.

Несколько неожиданным, на наш взгляд, явился полученный авторами результат о том, что между образцами почвы, отобранными до и три месяца после внесения помета, не было разницы по видовому богатству и структуре бактериальных ансамблей. По-видимому, результаты в значительной степени зависят от состава компоста, в частности, от его микробиотической нагрузки, а также от дозы и срока отбора образцов после внесения (Kyakuwaire et al., 2019). Применение ферментированного куриного помета (совместно с коровьим навозом) изменило бактериобиом ризосферы арбуза, значительно повысив биоразнообразие бактериобиома и вкусовые качества товарной продукции (Zhao et al., 2018), а также существенно снизило обилие грибов рода *Fusarium*, в основном являющихся патогенами растений.

Важно понимать, что в почве исходно, еще даже до вовлечения в сельскохозяйственный оборот ненарушенной почвы или до внесения помета/компоста в пахотную почву, есть как микроорганизмы, продуцирующие антибиотики, так и микроорганизмы, выработавшие механизмы устойчивости, т.е. резистентности, к ним, и соответствующие гены, которые могут быть переданы от бактерии к бактерии горизонтально (World..., 2017). Тем не менее из-за внесения помета, компоста и навоза сельскохозяйственных животных, в том числе птиц, пахотные почвы и пастбищные угодья могут стать особенно богатым резервуаром АБР и ее генов (Su et al., 2014). Если вместе с пометом или компостом вносится какое-то количество неразрушенного исходного антибиотика, то под влиянием таких антибиотиков может происходить отбор устойчивых к нему бактериальных штаммов из большого богатства автохтонных резидентов почвы (Wang et al., 2015). Если происходит так, что с пометом/компостом в почву попадают бактерии, уже резистентные к антибиотикам, то гены АБР могут распространиться в почвенном бактериальном сообществе путем горизонтального переноса от них (Jechalke et al., 2014). Так, при исследовании 30 образцов пахотных почв из европейской части России на наличие гена устойчивости к группе тетрациклинов, т.е. гена *tet(X)*, последний был обнаружен в 27 образцах, причем в половине из них в очень большом количестве (Danilova et al., 2018). Примечательно, что свойства почвы, например, состав минералов, могут оказывать влияние на передачу генов АБР между бактериями. Так, в совсем недавнем исследовании о влиянии почвенных минералов, а именно каолинита, монтмориллонита, гетита и бирнессита (филломанганита), на передачу модельной плазмиды от *Escherichia coli* при конъюгации штамму *Pseudomonas putida*, было выявлено четкое стимулирующее влияние бирнессита (Wu et al., 2020).

Гены, несущие устойчивость к антибиотикам, могут проникать и в микробиоту сельскохозяйственных растений (Zhang et al., 2017; 2019; Laconi et al., 2021). Так, установлено, что птичий компост, в сравнении с навозом крупного рогатого скота, может оказывать более сильное воздействие на формирование резистома почвы (Zhang et al., 2017) и растений (Zhang et al., 2019). Установлено также, что применение помета не приводило к увеличению встречаемости генов антибиотикорезистентности в эндофитной микробиоте корней растений редиса (Zhang et al., 2020), но в ризосфере и филлосфере растений вызывало соответствующее увеличение. Однако при исследовании применения птичьего компоста при выращивании томата не было выявлено его влияния на микробиом ризосферы и фитобиом цветов и плодов (Allard et al., 2016). Итак, пока работ по этой тематике мало, а их результаты неоднозначны: по-видимому, это зависит от многих факторов – от вида, породы, возраста, технологии выращивания птиц, технологии компостирования, культуры и сорта сельскохозяйственных растений, технологии их возделывания и специфики почвенного субстрата. Очевидно, что наибольшую озабоченность в плане распространения генов АБР вызывает их проникновение в товарные части растениеводческой продукции, употребляемой в сыром виде. В связи с этим особое внимание, наряду с пахотной почвой как источником пыли, необходимо уделять исследованию компонентов фитобиома сельскохозяйственных культур, выращиваемых при внесении компостов помета с птицефабрик, где производство ведут с применением антибиотиков. Следует подчеркнуть также, что внесение помета на пастбища означает повышенный риск передачи генов АБР резидентной микробиоте других видов сельскохозяйственных животных, и в этих случаях компосты необходимо тщательным образом проверять.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В кишечном микробиоме кур доминируют бактерии, относящиеся к типам *Firmicutes* и *Bacteroidetes*, а также *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Cyanobacteria*, при этом представители типа *Firmicutes* являются главным доминантом, составляющим более половины относительного обилия нуклеотидных последовательностей. Компостирование птичьего помета в принципе является безвредным для окружающей среды путем трансформации в органические удобрения, и разработка новых более эффективных приемов и технологий компостирования и переработки является основным направлением утилизации птичьего помета. При значительном удешевлении изучения микробиома методами высокопроизводительного секвенирования нужно следить за составом микробиома птичьего помета как для наблюдения за здоровьем птичьего поголовья, выявляя негативные тенденции, так и за составом микробиома после компостирования для принятия решения о возможности внесения компоста в почву. Анализ литературных данных показал, что распространение генов антибиотикорезистентности с куриным компостом в настоящее время может быть велико и в перспективе стать серьезной экологической и санитарно-гигиенической проблемой. Поскольку рост крупномасштабного птицеводства не позволяет отказаться от применения антибиотиков, то распространение генов антибиотикорезистентности из-за внесения птичьего помета/компоста на поля может привести к проникновению таких генов в микробиоту товарных частей растениеводческой продукции, употребляемой в сыром виде, и далее по пищевой цепи. В связи с этим особое внимание необходимо уделять исследованию компонентов фитобиома сельскохозяйственных культур, выращиваемых при внесении компостов помета с птицефабрик, ведущих производство с применением антибиотиков. Актуальной представляется интенсификация исследований по оценке количества генов антибиотикорезистентности, попадающих с птичьим пометом или компостом в сельскохозяйственные экосистемы, и их последующее распространение. Необходимо количественно оценить риск попадания/передачи генов антибиотикорезистентности из таких экосистем человеку. Вполне своевременным представляется фокусирование исследований на установление максимально допустимой нагрузки микробиома последовательностями генов антибиотикорезистентности. Следует также периодически анализировать состав микробиома твердых компонентов аэрозолей вокруг хранилищ птичьего помета с крупных птицефабрик, а также почвы и воздуха вокруг сельскохозяйственных экосистем, где применяют такие компосты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны д.б.н. Якименко В.Н. за критические замечания, высказанные при подготовке статьи к печати.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ИПА СО РАН 121031700309-1.

ЛИТЕРАТУРА

- Балахонов А.В. *Большой толковый словарь биологических терминов*. Контраст: Санкт-Петербург, 2017. 912 с.
- Бикташева Л.Р., Белоногова Н.В., Селивановская С.Ю., Галицкая П.Ю. Эффективность интродукции микроорганизмов, применяемых для направленного изменения свойств компостов // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2016. Т. 158. № 4. С. 493–506.
- Данилова Н.В., Курынцева П.А., Тагиров М.Ш., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю. Распространение антибиотикорезистентности в почве при ее обработке компостами, содержащими окситетрацилин и гены устойчивости к нему // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2019. Т. 161. № 3. С. 395–407. DOI: [10.26907/2542-064X.2019.3.395-407](https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.395-407)
- Курынцева П.А., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю. Оценка возможности применения биочара с иммобилизованными свободноживущими азотфиксаторами в качестве удобрения (вегетационные опыты) // *Аграрный научный журнал*. 2020. Т.29. № 12. С.28–33. DOI: [10.28983/asj.y2020i12pp28-33](https://doi.org/10.28983/asj.y2020i12pp28-33)
- Сорокулова И.Б. Сравнительное изучение биологических свойств биоспорина и других коммерческих препаратов на основе бацилл // *Микробиологический журнал*. 1997. Т. 69. №6. С. 43–49.
- Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. ГОСТ 31461-2012. *Помет птицы. Сырье для производства органических удобрений. Технические условия*. М.: Стандартинформ, 2014.
- Allard S.M., Walsh C.S., Wallis A.E., Ottesen A.R., Brown E.W., Micallef S.A. *Solanum lycopersicum* (tomato) hosts robust phyllosphere and rhizosphere bacterial communities when grown in soil amended with various organic and synthetic fertilizers // *Sci Total Environ*. 2016. Vol.573. P.555–563. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2016.08.157](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.157)

- Awad W.A., Smorodchenko A., Hess C., Aschenbach J.R., Molnar A., Dublec K., Khayal B., Pohl E.E., Hess M. Increased intracellular calcium level and impaired nutrient absorption are important pathogenicity traits in the chicken intestinal epithelium during *Campylobacter jejuni* colonization // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2015. Vol.99. P.6431–6441. DOI: [10.1007/s00253-015-6543-z](https://doi.org/10.1007/s00253-015-6543-z)
- Awasthi M.K., Liu T., Chen H., Verma S., Duan Y., Awasthi S.K., Wang Q., Ren X., Zhao J., Zhang Z. The behavior of antibiotic resistance genes and their associations with bacterial community during poultry manure composting // *Bioresour. Technol.* 2019. Vol.280. P.70–78. DOI: [10.1016/j.biortech.2019.02.030](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.030)
- Bolan N.S., Stogy A.A., Chuasavathi T., Seshadri B., Rothrock M.J., Panneerselvam P. Uses and management of poultry litter // *World's Poult. Sci. J.* 2010. VOL.66. P.673–698. DOI: [10.1017/S0043933910000656](https://doi.org/10.1017/S0043933910000656)
- Borda-Molina D., Seifert J., Camarinha-Silva A. Current perspectives of the chicken gastrointestinal tract and its microbiome // *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 2018. Vol.16. P.131–139. DOI: [10.1016/J.CSBJ.2018.03.002](https://doi.org/10.1016/J.CSBJ.2018.03.002)
- Chang R., Li Y., Chen Q., Gong X., Qi Z. Effects of carbon-based additives and ventilation rate on nitrogen loss and microbial community during chicken manure composting. *PLoS one.* 2020. Vol.15. No.9. Art. e0229880. DOI: [10.1371/journal.pone.0229880](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229880)
- Chen Z., Jiang X. Microbiological safety of chicken litter or chicken litter-based organic fertilizers: A review // *Agriculture.* 2014. VOL.4. P.1–29. DOI: [10.3390/agriculture4010001](https://doi.org/10.3390/agriculture4010001)
- Danilova N.VOL., Galitskaya P.Yu., Selivanovskaya S.Yu. Antibiotic resistance of microorganisms in agricultural soils in Russia // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2018, Vol.107. Art. 012054. DOI: [10.1088/1755-1315/107/1/012054](https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012054)
- Diaz Carrasco J.M., Casanova N.A., Fernández Miyakawa M.E. Microbiota, Gut Health and Chicken Productivity: What Is the Connection? // *Microorganisms.* 2019. Vol.7. No. 10. Art.374. DOI: [10.3390/microorganisms7100374](https://doi.org/10.3390/microorganisms7100374)
- Dolliver H., Kumar K., Gupta S. Sulfamethazine uptake by plants from manure-amended soil // *Journal of Environment Quality.* 2007. Vol. 36. P.1224–1230. DOI: [10.2134/jeq2006.0266](https://doi.org/10.2134/jeq2006.0266)
- Drózdź D., Wystalska K., Malińska K., Grosser A., Grobelak A., Kacprzak M. Management of poultry manure in Poland - Current state and future perspectives // *J. Environ. Manage.* 2020. Vol.264, 110327. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110327](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110327)
- Emmanuel S.A., Yoo J., Kim E.J., Chang J.S., Park Y.I., Koh S.C. Development of functional composts using spent coffee grounds, poultry manure and biochar through microbial bioaugmentation // *J. Environ. Sci. Health B.* 2017. Vol.52(11). P.802-811. DOI: [10.1080/03601234.2017.1356165](https://doi.org/10.1080/03601234.2017.1356165)
- FAO, FAOSTAT, 2021a. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA>
- FAO, FAOSTAT, 2021b. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GU>
- Franciosini M.P., Costarelli S., Cobellis G., Trabalza-Marinucci M. Effects of dietary *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus subtilis* on laying performance, egg quality, blood biochemistry and immune response of organic laying hens // *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2016. Vol.100. P.977–987. DOI: [10.1111/jpn.12408](https://doi.org/10.1111/jpn.12408)
- Gould A.L., Zhang VOL., Lamberti L., Jones E.W., Obadia B., Korasidis N., Gavryushkin A., Carlson J.M., Beerenwinkel N., Ludington W.B. Microbiome interactions shape host fitness // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2018. Vol. 115. P.E11951–E11960. DOI: [10.1073/pnas.1809349115](https://doi.org/10.1073/pnas.1809349115)
- Huang P., Zhang Y., Xiao K., Jiang F., Wang H., Tang D., Liu D., Liu B., Liu Y., He X., Liu H., Liu X., Qing Z., Liu C., Huang J., Ren Y., Yun L., Yin L., Lin Q., Zeng C., Su X., Yuan J., Lin L., Hu N., Cao H., Huang S., Guo Y., Fan W., Zeng J. The chicken gut metagenome and the modulatory effects of plant-derived benzylisoquinoline alkaloids // *Microbiome.* 2018. Vol.6, 211. DOI: [10.1186/s40168-018-0590-5](https://doi.org/10.1186/s40168-018-0590-5)
- Jechalke S., Heuer H., Siemens J., Amelung W., Smalla K. Fate and effects of veterinary antibiotics in soil // *Trends in Microbiology.* 2014. Vol.22. P.536–545. DOI: [10.1016/j.tim.2014.05.005](https://doi.org/10.1016/j.tim.2014.05.005)
- Iqbal Y., Cottrell J.J., Suleria H.A.R., Dunshea F.R. Gut Microbiota-Polyphenol Interactions in Chicken: A Review // *Animals.* 2020. Vol.10(8). Art.1391. DOI: [10.3390/ani10081391](https://doi.org/10.3390/ani10081391)
- Iwu C.D., Korsten L., Okoh A.I. The incidence of antibiotic resistance within and beyond the agricultural ecosystem: A concern for public health // *Microbiologyopen.* 2020. Vol.9. Art.:e1035. DOI: [10.1002/mbo3.1035](https://doi.org/10.1002/mbo3.1035)
- Kogut M.H. The effect of microbiome modulation on the intestinal health of poultry // *Animal Feed Sci Technol.* 2019. Vol.250. P.32–40. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2018.10.008](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.008)
- Li M.X., He X.S., Tang J., Li X., Zhao R., Tao Y.Q., Wang C., Qiu Z.P. Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting // *Chemosphere.* 2021. Vol.264(Pt 2). Art. 128549. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2020.128549](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128549)
- Kuppusamy S., Kakarla D., Venkateswarlu K., Megharaj M., Yoon Y.-E., Lee Y.B. Veterinary antibiotics (VAs) contamination as a global agro-ecological issue: A critical view // *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2018. Vol.257. P.47–59. DOI: [10.1016/j.agee.2018.01.026](https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.026)
- Kyakuwaire M., Olupot G., Amoding A., Nkedi-Kizza P., Basamba T.A. How Safe is Chicken Litter for Land Application as an Organic Fertilizer? A Review // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. Vol.16. Art. 3521. DOI: [10.3390/ijerph16193521](https://doi.org/10.3390/ijerph16193521)
- Lillehoj H., Liu Y., Calsamiglia S., Fernandez-Miyakawa M.E., Chi F., Cravens R.L., Oh S., Gay C.G. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health // *Vet Res.* 2018. Vol.49. No.1. P.76. DOI: [10.1186/s13567-018-0562-6](https://doi.org/10.1186/s13567-018-0562-6)

- Liu H., Huang Y., Duan W., Qiao C., Shen Q., Li R. Microbial community composition turnover and function in the mesophilic phase predetermine chicken manure composting efficiency // *Bioresour. Technol.* 2020. Vol.313. Art. 123658. DOI: [10.1016/j.biortech.2020.123658](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123658)
- Liu X., Liu W., Deng Y., He C., Xiao B., Guo S., Zhou X., Tang S., Qu X. Use of encapsulated *Bacillus subtilis* and essential oils to improve antioxidant and immune status of blood and production and hatching performance of laying hens // *Ital J Anim Sci.* 2020. Vol.19. P.1583–1591. DOI:[10.1080/1828051X.2020.1862715](https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1862715)
- Liu J., Stewart S.N., Robinson K., Yang Q., Lyu W., Whitmore M.A., Zhang G. Linkage between the intestinal microbiota and residual feed intake in broiler chickens // *J Anim Sci Biotechnol.* 2021. Vol.12. No.1. Art. 22. DOI: [10.1186/s40104-020-00542-2](https://doi.org/10.1186/s40104-020-00542-2)
- López-Mosquera M.E., Cabaleiro F., Sainz M.J., López-Fabal A., Carral E. Fertilizing value of broiler litter: effects of drying and pelletizing. *Bioresour Technol.* 2008. Vol.99. No.13. P.5626–5633. DOI: [10.1016/j.biortech.2007.10.034](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.034)
- Manikandan M., Chun S., Kazibwe Z., Gopal J., Singh U.B., Oh J.W. Phenomenal Bombardment of Antibiotic in Poultry: Contemplating the Environmental Repercussions // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020. Vol.17(14). P.5053. DOI: [10.3390/ijerph17145053](https://doi.org/10.3390/ijerph17145053)
- Marchesi J. R., Ravel J. The vocabulary of microbiome research: a proposal // *Microbiome.* 2015. Vol.3. Art. 31. DOI: [10.1186/s40104-020-00542-2](https://doi.org/10.1186/s40104-020-00542-2)
- Mingmongkolchai S., Panbangred W. Bacillus probiotics: an alternative to antibiotics for livestock production // *J. Appl. Microbiol.* 2018. Vol. 124. P.1334–1346. DOI:[10.1111/jam.13690](https://doi.org/10.1111/jam.13690)
- Naumova N.B., Alikina T.Y., Zolotova N.S., Konev A.VOL., Pleshakova VOL.I., Lescheva N.A., Kabilov M.R. *Bacillus*-Based Probiotic Treatment Modified Bacteriobiome Diversity in Duck Feces // *Agriculture.* 2021. Vol.11. No.11(5). Art.406. DOI: [10.3390/agriculture11050406](https://doi.org/10.3390/agriculture11050406)
- Neher D.A., Limoges M.A., Weicht T.R., Sharma M., Millner P.D., Donnelly C. Bacterial Community Dynamics Distinguish Poultry Compost from Dairy Compost and Non-Amended Soils Planted with Spinach // *Microorganisms.* 2020. Vol.8. Art. 1601. DOI:[10.3390/microorganisms8101601](https://doi.org/10.3390/microorganisms8101601)
- Neher D.A., Weicht T.R., Bates S.T., Leff J.W., Fierer N. Changes in bacterial and fungal communities across compost recipes, preparation methods, and composting times // *PLoS One.* 2013. Vol.8. Art.e79512. DOI: [10.1371/journal.pone.0079512](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079512)
- Ogunrinola G.A., Oyewale J.O., Oshamika O.O., Olasehinde G.I. The Human Microbiome and Its Impacts on Health // *Int. J. Microbiol.* 2020. Art.8045646. DOI: [10.1155/2020/8045646](https://doi.org/10.1155/2020/8045646)
- Oakley B.B., Lillehoj H.S., Kogut M.H., Kim W.K., Maurer J.J., Pedroso A., Lee M.D., Collett S.R., Johnson T.J., Cox N.A. The chicken gastrointestinal microbiome // *FEMS Microbiol Lett.* 2014. Vol.360. P.100–112. DOI:[10.1111/1574-6968.12608](https://doi.org/10.1111/1574-6968.12608)
- Opazo, M.C.; Ortega-Rocha, E.M.; Coronado-Arrázola, I.; Bonifaz, L.C.; Boudin, H.; Neunlist, M.; Riedel, C.A. Intestinal Microbiota Influences Non-intestinal Related Autoimmune Diseases // *Front. Microbiol.* 2018. Vol. 9. Art.432. DOI: [10.3389/fmicb.2018.00432](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00432)
- Oviedo-Rondón E.O. Holistic view of intestinal health in poultry // *Animal Feed Sci Technol.* 2019. Vol. 250. P. 1–8. DOI:[10.1016/j.anifeedsci.2019.01.009](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.009)
- Park I., Lee Y., Goo D., Zimmerman N.P., Smith A.H., Rehberger T., Lillehoj H.S. The effects of dietary *Bacillus subtilis* supplementation, as an alternative to antibiotics, on growth performance, intestinal immunity, and epithelial barrier integrity in broiler chickens infected with *Eimeria maxima* // *Poultry Sci.* 2020. Vol.99. P. 725–733. DOI: [10.1016/j.psj.2019.12.002](https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.002)
- Rinttilä T., Apajalahti J. Intestinal microbiota and metabolites – implications for broiler chicken health and performance // *J. Appl. Poult. Res.* 2013. Vol.22. P.647–658. DOI: [10.3382/japr.2013-00742](https://doi.org/10.3382/japr.2013-00742)
- Sanchuki C.E., Socol C.R., de Carvalho J.C., Socol VOL.T., de Nascimento C., Wacieczowski A.L. Evaluation of poultry litter traditional composting process // *Braz. Arch. Boil. Technol.* 2011. Vol.54. P.1053–1058. DOI:[10.1590/S1516-89132011000500024](https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000500024)
- Siller P., Daehre K., Thiel N., Nübel U., Roesler U. Impact of short-term storage on the quantity of extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli* in broiler litter under practical conditions // *Poult Sci.* 2020. Vol.99(4). P.2125–2135. DOI: [10.1016/j.psj.2019.11.043](https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.043)
- Sood U., Gupta VOL., Kumar R. et al. Chicken Gut Microbiome and Human Health: Past Scenarios, Current Perspectives, and Futuristic Applications // *Indian J. Microbiol.* 2020. Vol.60. P.2–11. <https://doi.org/10.1007/s12088-019-00785-2>
- Su Q.J., Wei B., Yan C., Qiao M., Guan Y. Functional metagenomic characterization of antibiotic resistance genes in agricultural soils from China // *Environment International.* 2014 Vol.65. P.9–15. DOI:[10.1016/j.envint.2013.12.010](https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.12.010)
- Subirats J., Murray R., Scott A., Lau C.H., Topp E. Composting of chicken litter from commercial broiler farms reduces the abundance of viable enteric bacteria, Firmicutes, and selected antibiotic resistance genes. *Sci Total Environ.* 2020. Vol.746. Art.141113. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.141113](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141113)
- Thomas C., Idler C., Ammon C., Amon T. Effects of the C/N ratio and moisture content on the survival of ESBL-producing *Escherichia coli* during chicken manure composting // *Waste Manag.* 2020. Vol.105. P.110–118. DOI: [10.1016/j.wasman.2020.01.031](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.031)

- Wan L., Wang X., Cong C., Li J., Xu Y., Li X., Hou F., Wu Y., Wang L. Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw // *Bioresour Technol.* 2020. Vol.301. Art. 122730. DOI: [10.1016/j.biortech.2019.122730](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122730)
- Wang Y., Gong J., Li J., Xin Y., Hao Z., Chen C., Li H., Wang B., Ding M., Li W., Zhang Z., Xu P., Xu T., Ding G.C., Li J. Insights into bacterial diversity in compost: Core microbiome and prevalence of potential pathogenic bacteria // *Sci. Total Environ.* 2020. Vol.718. Art.137304. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.137304](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137304)
- Wang F.-H., Qiao M., Chen Z., Su J.-Q., Zhu Y.-G. Antibiotic resistance genes in manure-amended soil and vegetables at harvest // *Journal of Hazardous Materials.* 2015. Vol.299. P.215–221. DOI:[10.1016/j.jhazmat.2015.05.028](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.05.028)
- Wan J., Wang X., Yang T., Wei Z., Banerjee S., Friman VOL.P., Mei X., Xu Y., Shen Q. Livestock Manure Type Affects Microbial Community Composition and Assembly During Composting // *Front Microbiol.* 2021. Vol.12. Art. 621126. DOI: [10.3389/fmicb.2021.621126](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.621126)
- World Health Organization (WHO). Antimicrobial resistance in the food chain. [WWW Document]. WHO. 2017. Available at: https://www.who.int/foodsafety/areas_work/antimicrobial-resistance/amrfoodchain/en/
- Wu S., Wu Y., Huang Q., Cai P. Insights into conjugative transfer of antibiotic resistance genes affected by soil minerals // *Eur J Soil Sci.* 2021. Vol. 72.P. 1143– 1153. DOI:[10.1111/ejss.13004](https://doi.org/10.1111/ejss.13004)
- Xiao Y., Xiang Y., Zhou W., Chen J., Li K., Yang H. Microbial community mapping in intestinal tract of broiler chicken // *Poult. Sci.* 2016. Vol.96. P.1387–1393. DOI: [10.3382/ps/pew372](https://doi.org/10.3382/ps/pew372)
- Yang Y., Ashworth A.J., DeBruyn J.M., Willett C., Durso L.M., Cook K., Moore P.A. Jr., Owens P.R. Soil bacterial biodiversity is driven by long-term pasture management, poultry litter, and cattle manure inputs // *PeerJ.* 2019. Vol. 7. e7839. DOI: [10.7717/peerj.7839](https://doi.org/10.7717/peerj.7839)
- Yegani M., Korver D.R. Factors affecting intestinal health in poultry // *Poult. Sci.* 2008. Vol.87. P.2052–2063. DOI: [10.3382/ps.2008-00091](https://doi.org/10.3382/ps.2008-00091)
- Zhang Y.J., Hu H.W., Chen Q.L., Singh B.K., Yan H., Chen D., He J.Z. Transfer of antibiotic resistance from manure-amended soils to vegetable microbiomes // *Environ. Int.* 2019. Vol.130. 104912. DOI: [10.1016/j.envint.2019.104912](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104912)
- Zhang Y.J., Hu H.W., Gou M., Wang J.T., Chen D., He J.Z. Temporal succession of soil antibiotic resistance genes following application of swine, cattle and poultry manures spiked with or without antibiotics // *Environ. Pollut.* 2017. Vol.231(Pt 2). P.1621–1632. DOI: [10.1016/j.envpol.2017.09.074](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.074)
- Zhang Y.J., Hu H.W., Chen Q.L., Yan H., Wang J.T., Chen D., He J.Z. Manure Application Did Not Enrich Antibiotic Resistance Genes in Root Endophytic Bacterial Microbiota of Cherry Radish Plants // *Appl. Environ. Microbiol.* 2020. Vol.86. e02106-19. DOI: [10.1128/AEM.02106-19](https://doi.org/10.1128/AEM.02106-19)
- Zhang J., Lin H., Ma J., Sun W., Yang Y., Zhang X. Compost-bulking agents reduce the reservoir of antibiotics and antibiotic resistance genes in manures by modifying bacterial microbiota // *Sci. Total Environ.* 2019. Vol.649. P.396–404. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.08.212](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.212)
- Zhao J., Liu J., Liang H., Huang J., Chen Z., Nie Y., Wang C., Wang Y. Manipulation of the rhizosphere microbial community through application of a new bio-organic fertilizer improves watermelon quality and health. *PLoS one.* 2018. vol.13. No.2. e0192967. DOI: [10.1371/journal.pone.0192967](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192967)

Поступила в редакцию 01.06.2021; принята 24.06.2021;
Опубликована 02.07.2021

Сведения об авторах:

Наумова Наталья Борисовна – к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); naumova@issa-siberia.ru

Ручко Елена Николаевна – студентка 5-го курса ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина (г. Омск, Россия)

Савенков Олег Александрович – к.б.н., научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); savenkov@issa-siberia.ru




Плешакова Валентина Ивановна – доктор ветеринарных наук, профессор, заведующая кафедрой ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина (г. Омск, Россия); vi.pleshakova@omgau.org

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

SOIL AND CROP MICROBIOME UNDER SOIL AMENDMENT WITH POULTRY MANURE COMPOST

© 2021 N.B. Naumova¹ , E.N. Ruchko², O.A. Savenkov¹ , VOL.I. Pleshakova² 

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia; E-mail: savenkov@issa-siberia.ru, naumova@issa-siberia.ru

² Stolypin Omsk State Agrarian University, Institutskaya pl. 1, Omsk 644008 Russia; E-mail: vi.pleshakova@omgau.org

The aim of the study. The aim of the study was to review publication about microbiome of chicken manure, chicken manure compost, as well as soil and crop microbiome after compost addition to soil as a fertilizer.

Methodology. A search in the bibliographical data bases PubMed and elibrary.ru was performed using the keywords pertaining to the topic of the article.

Main results. The results about the chicken manure microbiome, obtained by high throughput sequencing, showed that the chicken gut microbiome is dominated by bacteria of the Firmicutes and Bacteroidetes phyla; some regional chicken populations were found to have *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Eubacterium*, *Bacteroides*, *Escherichia coli*, *Prevotella*, *Selenomonas*, *Streptococcus*, *Megasphaera*, *Fusobacterium* u *Bifidobacterium* as the main representatives of the gut microbiome. However, chicken manure can contain bacteria with antibiotic resistance genes, as antibiotics are increasingly used in the poultry industry to stimulate production. In general manure composting can be regarded as environmentally safe method for transforming various organic wastes into organic fertilizers. As increasing output of the poultry industry, which inevitably includes manure, increased the interest to its composting, and recent years have seen unprecedented number of research, dealing with various details of manure composting, such as duration, hydrothermal conditions, added bulking materials, microbiological preparations, abundance of the antibiotic resistance genes, and so on. However, the studies of soil and crop microbiome after soil fertilization with chicken manure compost have so far been rather scarce, resulting in ambiguous conclusions, i.e. about positive or no effect of the compost addition. The effect is determined by species, breed, age, rearing and manure composting technology, as well as by crop and its cultivar, agricultural practices and soil specifics.

Conclusions. Chicken manure contains taxonomically diverse microbiome that can be changed during composting. Microbiota of chicken manure and its compost with their great microbial species richness can contain bacteria, carrying antibiotic resistance genes. Dispersal of such components of the compost resistome in environment via compost addition to agricultural soils should be regarded as a growing biological hazard, threatening the efficient use of antibiotics for treating bacterial infections in in veterinary and medicine. Therefore increasing poultry production urges for assessing the risks and evaluating the scope of the threat, as well as estimating and establishing permissible limits of pathomicrobiotic load of the poultry litter manure and compost, using up-to-date metagenomic techniques. The greatest concern is about spreading antibiotic resistance genes into the marketable crop components, consumed raw; consequently, alongside with studying microbiota of the compost-receiving agricultural soil as a source of dust, microbiome research should be also focused crop phytobiome where crops are produced under addition of composts, obtained with manure of the antibiotic-treated poultry during industrial production.

Keywords: poultry litter manure; manure composting; resistome; chicken gut microbiome; soil microbiome

How to cite: Naumova N.B., Ruchko E.N., Savenkov O.A., Pleshakova V.I. Soil and crop microbiome under soil amendment with poultry manure compost, *The Journal of Soils and Environment*. 2021. Vol.4. № 1. e141. DOI: [10.31251/pos.v4i1.141](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.141)

FINANCIAL SUPPORT

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No.121031700309-1).

REFERENCES

- Balakhonov A.V. *Big thesaurus of biological terms*. Sankt-Petersburg, Contrast Publ., 2017, 912 p. (in Russian)
- [Biktasheva L.R., Belonogova N.VOL., Selivanovskaya S.Y., Galitskaya P.Y. On the Efficiency of Introduction of Microbial Strains Used for Adjusted Changes of the Compost Properties, *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*, 2016, Vol. 158, No.4, p. 493–506. \(in Russian with an English abstract\)](#)
- [Danilova N.VOL., Kuryntseva P.A., Tagirov M.Sh., Galitskaya P.Y., Selivanovskaya S.Y. Spreading of antibiotic resistance as a result of soil fertilization by manure composts containing oxytetracycline and antibiotic-resistance genes, *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*, 2019, Vol. 161, No.3. p. 395–407. DOI: \[10.26907/2542-064X.2019.3.395-407\]\(https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.395-407\) \(in Russian with an English abstract\)](#)

- Kuryntseva P.A., Galitskaya P.Y., Selivanovskaya S.Y. The study of the possibility to use biochar with immobilized free-living nitrogen-fixing bacteria as a fertilizer (vegetation experiments), *The Agrarian Scientific Journal*, 2020, Vol.29, No. 12, p.28–33. DOI: [10.28983/asj.y2020i12pp28-33](https://doi.org/10.28983/asj.y2020i12pp28-33) (in Russian with an English abstract)
- Sorokulova I.B. Comparative study of biological properties of biosporin and other commercial preparations based on bacilli, *Mikrobiologicheskii zhurnal*, 1997, Vol.69, No.6, p. 43–49. (in Russian with an English abstract)
- Federal Agency on Technical Regulation and Metrology. Federal Standard GOST 31461-2012. Poultry Manure. Raw material for production of Organic fertilizers. Technical Requirements. Standartinform Publ., Moscow, 2014. (in Russian).
- Allard S.M., Walsh C.S., Wallis A.E., Ottesen A.R., Brown E.W., Micallef S.A. *Solanum lycopersicum* (tomato) hosts robust phyllosphere and rhizosphere bacterial communities when grown in soil amended with various organic and synthetic fertilizers, *Sci. Total Environ.*, 2016, Vol.573, p.555–563. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2016.08.157](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.157)
- Awad W.A., Smorodchenko A., Hess C., Aschenbach J.R., Molnar A., Duplecz K., Khayal B., Pohl E.E., Hess M. Increased intracellular calcium level and impaired nutrient absorption are important pathogenicity traits in the chicken intestinal epithelium during *Campylobacter jejuni* colonization, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2015, Vol.99, p.6431–6441. DOI: [10.1007/s00253-015-6543-z](https://doi.org/10.1007/s00253-015-6543-z)
- Awasthi M.K., Liu T., Chen H., Verma S., Duan Y., Awasthi S.K., Wang Q., Ren X., Zhao J., Zhang Z. The behavior of antibiotic resistance genes and their associations with bacterial community during poultry manure composting, *Bioresour. Technol.*, 2019, Vol.280, p.70–78. DOI: [10.1016/j.biortech.2019.02.030](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.030)
- Bolan N.S., Stogy A.A., Chuasavathi T., Seshadri B., Rothrock M.J., Panneerselvam P. Uses and management of poultry litter, *World's Poult. Sci. J.* 2010, Vol.66, p.673–698. DOI: [10.1017/S0043933910000656](https://doi.org/10.1017/S0043933910000656)
- Borda-Molina D., Seifert J., Camarinha-Silva A. Current perspectives of the chicken gastrointestinal tract and its microbiome, *Comput. Struct. Biotechnol. J.*, 2018, Vol.16, p.131–139. DOI: [10.1016/J.CSBJ.2018.03.002](https://doi.org/10.1016/J.CSBJ.2018.03.002)
- Chang R., Li Y., Chen Q., Gong X., Qi Z. Effects of carbon-based additives and ventilation rate on nitrogen loss and microbial community during chicken manure composting, *PLoS one*, 2020, Vol.15, No.9, Art. e0229880. DOI: [10.1371/journal.pone.0229880](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229880)
- Chen Z., Jiang X. Microbiological safety of chicken litter or chicken litter-based organic fertilizers: A review, *Agriculture*, 2014, Vol.4, p.1–29. DOI: [10.3390/agriculture4010001](https://doi.org/10.3390/agriculture4010001)
- Danilova N.VOL., Galitskaya P.Yu., Selivanovskaya S.Yu. Antibiotic resistance of microorganisms in agricultural soils in Russia, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2018, Vol.107, Art. 012054. DOI: [10.1088/1755-1315/107/1/012054](https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012054)
- Diaz Carrasco J.M., Casanova N.A., Fernández Miyakawa M.E. Microbiota, Gut Health and Chicken Productivity: What Is the Connection? *Microorganisms*, 2019, Vol.7, No. 10, Art.374. DOI: [10.3390/microorganisms7100374](https://doi.org/10.3390/microorganisms7100374)
- Dolliver H., Kumar K., Gupta S. Sulfamethazine uptake by plants from manure-amended soil, *Journal of Environment Quality*, 2007, Vol. 36, p.1224–1230. DOI: [10.2134/jeq2006.0266](https://doi.org/10.2134/jeq2006.0266)
- Drózd D., Wystalska K., Malińska K., Grosser A., Grobelak A., Kacprzak M. Management of poultry manure in Poland - Current state and future perspectives, *J. Environ. Manage.*, 2020, Vol.264, 110327. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110327>
- Emmanuel S.A., Yoo J., Kim E.J., Chang J.S., Park Y.I., Koh S.C. Development of functional composts using spent coffee grounds, poultry manure and biochar through microbial bioaugmentation, *J. Environ. Sci. Health B.*, 2017, Vol.52, p.802–811. DOI: [10.1080/03601234.2017.1356165](https://doi.org/10.1080/03601234.2017.1356165)
- FAO, FAOSTAT, 2021a. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA> (accessed June 01, 2021)
- FAO, FAOSTAT, 2021b. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GU> (accessed June 01, 2021)
- Franciosini M.P., Costarelli S., Cobellis G., Trabalza-Marinucci M. Effects of dietary *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus subtilis* on laying performance, egg quality, blood biochemistry and immune response of organic laying hens, *J Anim Physiol Anim Nutr.*, 2016, Vol.100, p.977–987. DOI: [10.1111/jpn.12408](https://doi.org/10.1111/jpn.12408)
- Gould A.L., Zhang VOL., Lamberti L., Jones E.W., Obadia B., Korasidis N., Gavryushkin A., Carlson J.M., Beerenwinkel N., Ludington W.B. Microbiome interactions shape host fitness, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2018, Vol. 115, p.E11951–E11960. DOI: [10.1073/pnas.1809349115](https://doi.org/10.1073/pnas.1809349115)
- Huang P., Zhang Y., Xiao K., Jiang F., Wang H., Tang D., Liu D., Liu B., Liu Y., He X., Liu H., Liu X., Qing Z., Liu C., Huang J., Ren Y., Yun L., Yin L., Lin Q., Zeng C., Su X., Yuan J., Lin L., Hu N., Cao H., Huang S., Guo Y., Fan W., Zeng J. The chicken gut metagenome and the modulatory effects of plant-derived benzylisoquinoline alkaloids, *Microbiome*, 2018, Vol.6, 211. DOI: [10.1186/s40168-018-0590-5](https://doi.org/10.1186/s40168-018-0590-5)
- Jechalke S., Heuer H., Siemens J., Amelung W., Smalla K. Fate and effects of veterinary antibiotics in soil, *Trends in Microbiology*, 2014, Vol.22, p.536–545. DOI: [10.1016/j.tim.2014.05.005](https://doi.org/10.1016/j.tim.2014.05.005)
- Iqbal Y., Cottrell J.J., Suleria H.A.R., Dunshea F.R. Gut Microbiota-Polyphenol Interactions in Chicken: A Review, *Animals*, 2020, Vol.10, Art.1391. DOI: [10.3390/ani10081391](https://doi.org/10.3390/ani10081391)
- Iwu C.D., Korsten L., Okoh A.I. The incidence of antibiotic resistance within and beyond the agricultural ecosystem: A concern for public health, *Microbiologyopen*, 2020, Vol.9, Art.:e1035. DOI: [10.1002/mbo3.1035](https://doi.org/10.1002/mbo3.1035)
- Kogut M.H. The effect of microbiome modulation on the intestinal health of poultry, *Animal Feed Sci Technol.*, 2019, Vol.250, p.32–40. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2018.10.008](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.008)

- Li M.X., He X.S., Tang J., Li X., Zhao R., Tao Y.Q., Wang C., Qiu Z.P. Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting, *Chemosphere*, 2021, Vol.264, Art. 128549. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128549
- Kuppusamy S., Kakarla D., Venkateswarlu K., Megharaj M., Yoon Y.-E., Lee Y.B. Veterinary antibiotics (VAs) contamination as a global agro-ecological issue: A critical view, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, Vol.257, p.47–59. DOI:10.1016/j.agee.2018.01.026
- Kyakuwaire M., Olupot G., Amoding A., Nkedi-Kizza P., Basamba T.A. How Safe is Chicken Litter for Land Application as an Organic Fertilizer? A Review, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, Vol.16, Art. 3521. DOI: 10.3390/ijerph16193521
- Lillehoj H., Liu Y., Calsamiglia S., Fernandez-Miyakawa M.E., Chi F., Cravens R.L., Oh S., Gay C.G. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health, *Vet Res.*, 2018, Vol.49, No.1, p.76. DOI: 10.1186/s13567-018-0562-6
- Liu H., Huang Y., Duan W., Qiao C., Shen Q., Li R. Microbial community composition turnover and function in the mesophilic phase predetermine chicken manure composting efficiency, *Bioresour. Technol.*, 2020, Vol.313, Art. 123658. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123658
- Liu X., Liu W., Deng Y., He C., Xiao B., Guo S., Zhou X., Tang S., Qu X. Use of encapsulated *Bacillus subtilis* and essential oils to improve antioxidant and immune status of blood and production and hatching performance of laying hens, *Ital. J. Anim. Sci.*, 2020, Vol.19, p.1583–1591. DOI:10.1080/1828051X.2020.1862715
- Liu J., Stewart S.N., Robinson K., Yang Q., Lyu W., Whitmore M.A., Zhang G. Linkage between the intestinal microbiota and residual feed intake in broiler chickens, *J Anim Sci Biotechnol.*, 2021, Vol.12, No.1, Art. 22. DOI: 10.1186/s40104-020-00542-2
- López-Mosquera M.E., Cabaleiro F., Sainz M.J., López-Fabal A., Carral E. Fertilizing value of broiler litter: effects of drying and pelletizing. *Bioresour Technol.*, 2008, Vol.99, No.13, p.5626–5633. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.10.034
- Manikandan M., Chun S., Kazibwe Z., Gopal J., Singh U.B., Oh J.W. Phenomenal Bombardment of Antibiotic in Poultry: Contemplating the Environmental Repercussions, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, Vol.17, p.5053. DOI: 10.3390/ijerph17145053
- Marchesi J. R., Ravel J. The vocabulary of microbiome research: a proposal, *Microbiome*, 2015, Vol.3, Art. 31. DOI: 10.1186/s40168-015-0094-5
- Mingmongkolchai S., Panbangred W. Bacillus probiotics: an alternative to antibiotics for livestock production, *J. Appl. Microbiol.*, 2018, Vol. 124, p.1334–1346. DOI:10.1111/jam.13690
- Naumova N.B., Alikina T.Y., Zolotova N.S., Konev A.VOL., Pleshakova V.I., Lescheva N.A., Kabilov M.R. Bacillus-Based Probiotic Treatment Modified Bacteriome Diversity in Duck Feces, *Agriculture*, 2021, Vol.11. No.11, Art.406. DOI: 10.3390/agriculture11050406
- Neher D.A., Limoges M.A., Weicht T.R., Sharma M., Millner P.D., Donnelly C. Bacterial Community Dynamics Distinguish Poultry Compost from Dairy Compost and Non-Amended Soils Planted with Spinach, *Microorganisms*, 2020, Vol.8, Art. 1601. DOI:10.3390/microorganisms8101601
- Neher D.A., Weicht T.R., Bates S.T., Leff J.W., Fierer N. Changes in bacterial and fungal communities across compost recipes, preparation methods, and composting times, *PLoS One*, 2013, Vol.8, Art.e79512. DOI: 10.1371/journal.pone.0079512
- Ogunrinola G.A., Oyewale J.O., Oshamika O.O., Olasehinde G.I. The Human Microbiome and Its Impacts on Health, *Int. J. Microbiol.*, 2020, Art.8045646. DOI: 10.1155/2020/8045646
- Oakley B.B., Lillehoj H.S., Kogut M.H., Kim W.K., Maurer J.J., Pedroso A., Lee M.D., Collett S.R., Johnson T.J., Cox N.A. The chicken gastrointestinal microbiome, *FEMS Microbiol Lett.*, 2014, Vol.360, p.100–112. DOI:10.1111/1574-6968.12608
- Opazo M.C., Ortega-Rocha E.M., Coronado-Arrázola I., Bonifaz L.C., Boudin H., Neunlist M., Riedel C.A. Intestinal Microbiota Influences Non-intestinal Related Autoimmune Diseases, *Front. Microbiol.* 2018. VOL. 9. Art.432. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00432
- Oviedo-Rondón E.O. Holistic view of intestinal health in poultry, *Animal Feed Sci Technol.*, 2019, Vol. 250, p. 1–8. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2019.01.009
- Park I., Lee Y., Goo D., Zimmerman N.P., Smith A.H., Rehberger T., Lillehoj H.S. The effects of dietary *Bacillus subtilis* supplementation, as an alternative to antibiotics, on growth performance, intestinal immunity, and epithelial barrier integrity in broiler chickens infected with *Eimeria maxima*, *Poultry Sci.*, 2020, Vol.99, p. 725–733. DOI: 10.1016/j.psj.2019.12.002
- Rinttilä T., Apajalahti J. Intestinal microbiota and metabolites – implications for broiler chicken health and performance, *J. Appl. Poult. Res.*, 2013, Vol.22, p.647–658. DOI: 10.3382/japr.2013-00742
- Sanchuki C.E., Soccol C.R., de Carvalho J.C., Soccol VOL.T., de Nascimento C., Waciecowski A.L. Evaluation of poultry litter traditional composting process, *Braz. Arch. Boil. Technol.*, 2011, Vol.54, p.1053–1058. DOI:10.1590/S1516-89132011000500024
- Siller P., Daehre K., Thiel N., Nübel U., Roesler U. Impact of short-term storage on the quantity of extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli* in broiler litter under practical conditions, *Poult Sci.*, 2020, Vol.99, p.2125–2135. DOI: 10.1016/j.psj.2019.11.043

- Sood U., Gupta VOL., Kumar R. et al. Chicken Gut Microbiome and Human Health: Past Scenarios, Current Perspectives, and Futuristic Applications, *Indian J. Microbiol.*, 2020, Vol.60, p.2–11. DOI: [10.1007/s12088-019-00785-2](https://doi.org/10.1007/s12088-019-00785-2)
- Su Q.J., Wei B., Yan C., Qiao M., Guan Y. Functional metagenomic characterization of antibiotic resistance genes in agricultural soils from China, *Environment International*, 2014, Vol.65, p.9–15. DOI:[10.1016/j.envint.2013.12.010](https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.12.010)
- Subirats J., Murray R., Scott A., Lau C.H., Topp E. Composting of chicken litter from commercial broiler farms reduces the abundance of viable enteric bacteria, Firmicutes, and selected antibiotic resistance genes, *Sci Total Environ.*, 2020, Vol.746, Art.141113. DOI: [10.1016/j.scitotenVol.2020.141113](https://doi.org/10.1016/j.scitotenVol.2020.141113)
- Thomas C., Idler C., Ammon C., Amon T. Effects of the C/N ratio and moisture content on the survival of ESBL-producing *Escherichia coli* during chicken manure composting, *Waste Manag.*, 2020, Vol.105, p.110–118. DOI: [10.1016/j.wasman.2020.01.031](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.031)
- Wan L., Wang X., Cong C., Li J., Xu Y., Li X., Hou F., Wu Y., Wang L. Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw, *Bioresour Technol.*, 2020, Vol.301, Art. 122730. DOI: [10.1016/j.biortech.2019.122730](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122730)
- Wang Y., Gong J., Li J., Xin Y., Hao Z., Chen C., Li H., Wang B., Ding M., Li W., Zhang Z., Xu P., Xu T., Ding G.C., Li J. Insights into bacterial diversity in compost: Core microbiome and prevalence of potential pathogenic bacteria, *Sci. Total Environ.*, 2020, Vol.718, Art.137304. DOI: [10.1016/j.scitotenVol.2020.137304](https://doi.org/10.1016/j.scitotenVol.2020.137304)
- Wang F.-H., Qiao M., Chen Z., Su J.-Q., Zhu Y.-G. Antibiotic resistance genes in manure-amended soil and vegetables at harvest, *Journal of Hazardous Materials*, 2015, Vol.299, p.215–221. DOI:[10.1016/j.jhazmat.2015.05.028](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.05.028)
- Wan J., Wang X., Yang T., Wei Z., Banerjee S., Friman VOL.P., Mei X., Xu Y., Shen Q. Livestock Manure Type Affects Microbial Community Composition and Assembly During Composting, *Front Microbiol.* 2021, Vol.12, Art. 621126. DOI: [10.3389/fmicb.2021.621126](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.621126)
- World Health Organization (WHO). Antimicrobial resistance in the food chain. [WWW Document]. WHO. 2017. [Electronic resource]. URL: https://www.who.int/foodsafety/areas_work/antimicrobial-resistance/amrfoodchain/en/ (Accessed June 01, 2021)
- Wu S., Wu Y., Huang Q., Cai P. Insights into conjugative transfer of antibiotic resistance genes affected by soil minerals, *Eur J Soil Sci.*, 2021, Vol. 72, p. 1143–1153. DOI:[10.1111/ejss.13004](https://doi.org/10.1111/ejss.13004)
- Xiao Y., Xiang Y., Zhou W., Chen J., Li K., Yang H. Microbial community mapping in intestinal tract of broiler chicken, *Poult. Sci.*, 2016, Vol.96, p.1387–1393. DOI: [10.3382/ps/pew372](https://doi.org/10.3382/ps/pew372)
- Yang Y., Ashworth A.J., DeBruyn J.M., Willett C., Durso L.M., Cook K., Moore P.A. Jr., Owens P.R. Soil bacterial biodiversity is driven by long-term pasture management, poultry litter, and cattle manure inputs, *PeerJ*, 2019, Vol. 7, e7839. DOI: [10.7717/peerj.7839](https://doi.org/10.7717/peerj.7839)
- Yegani M., Korver D.R. Factors affecting intestinal health in poultry, *Poult. Sci.*, 2008, Vol.87, p.2052–2063. DOI: [10.3382/ps.2008-00091](https://doi.org/10.3382/ps.2008-00091)
- Zhang Y.J., Hu H.W., Chen Q.L., Singh B.K., Yan H., Chen D., He J.Z. Transfer of antibiotic resistance from manure-amended soils to vegetable microbiomes, *Environ. Int.*, 2019, Vol.130, 104912. DOI: [10.1016/j.envint.2019.104912](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104912)
- Zhang Y.J., Hu H.W., Gou M., Wang J.T., Chen D., He J.Z. Temporal succession of soil antibiotic resistance genes following application of swine, cattle and poultry manures spiked with or without antibiotics, *Environ. Pollut.*, 2017, Vol.231, p.1621–1632. DOI: [10.1016/j.envpol.2017.09.074](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.074)
- Zhang Y.J., Hu H.W., Chen Q.L., Yan H., Wang J.T., Chen D., He J.Z. Manure Application Did Not Enrich Antibiotic Resistance Genes in Root Endophytic Bacterial Microbiota of Cherry Radish Plants, *Appl. Environ. Microbiol.*, 2020, Vol.86, e02106-19. DOI: [10.1128/AEM.02106-19](https://doi.org/10.1128/AEM.02106-19)
- Zhang J., Lin H., Ma J., Sun W., Yang Y., Zhang X. Compost-bulking agents reduce the reservoir of antibiotics and antibiotic resistance genes in manures by modifying bacterial microbiota, *Sci. Total Environ.*, 2019, Vol.649, p.396–404. DOI: [10.1016/j.scitotenVol.2018.08.212](https://doi.org/10.1016/j.scitotenVol.2018.08.212)
- Zhao J., Liu J., Liang H., Huang J., Chen Z., Nie Y., Wang C., Wang Y. Manipulation of the rhizosphere microbial community through application of a new bio-organic fertilizer improves watermelon quality and health, *PloS one*, 2018, Vol.13, No.2, e0192967. DOI: [10.1371/journal.pone.0192967](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192967)

Received 01 June 2021

Accepted 24 June 2021

Published 02 July 2021

About the authors:

Naumova Natalia B. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; naumova@issa-siberia.ru

Ruchko Elena N. – Student of the Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia.

Savenkov Oleg A. – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Agrochemistry of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; savenkov@issa-siberia.ru

Pleshakova Valentina I. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Veterinary Microbiology Chair in the Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia; vi.pleshakova@omgau.org

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



РОЛЬ В.В. ДОКУЧАЕВА В СТАНОВЛЕНИИ ЭКОЛОГИИ ПОЧВ КАК НАУКИ БИОСФЕРНОГО КЛАССА

© 2021 М. И. Дергачева 

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: mid555@yandex.ru

В статье рассматривается роль выдающегося ученого Василия Васильевича Докучаева, которому 1 марта 2021 года исполнилось 175 лет со дня рождения, в становлении экологии почв как науки биосферного класса. Обсуждается введенный им в научный обиход естественноисторический подход, что является вехой в развитии не только генетического почвоведения, но и всех естественных наук.

Ключевые слова: Василий Васильевич Докучаев; естественноисторический подход; науки биосферного класса; экология почв

Цитирование: Дергачева М.И. Роль В.В. Докучаева в становлении экологии почв как науки биосферного класса // Почвы и окружающая среда. 2021. Т. 4. № 1. с.140. doi: [10.31251/pos.v4i1.140](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.140)

Первого марта 2021 года исполнилось 175 лет со дня рождения Василия Васильевича Докучаева – ученого, которому принадлежит выдающаяся роль не только в становлении почвоведения, но и в развитии естественных наук в целом.

В.В. Докучаев, по сути дела, был первым ученым, предложившим новый взгляд на познание естественных тел природы, новый естественноисторический подход к их изучению и обосновавшим необходимость познания любых природных тел с исторических (временных) позиций. Он стал тем, кто не только обосновал и развил этот подход, но кто всем своим научным творчеством пропагандировал новое мышление. Н.В. Тимофеев-Ресовский считал, что связь, преемственность поколений в естествознании состоит в выработке такого типа мышления – мышления, основанного на понимании того, что любые естественные тела природы находятся в непрерывном развитии (Тюрюканов, Федоров, 1996). Две основные стороны этого мышления, этого нового подхода наиболее важны: во-первых, целостность объекта, всех его частей, его самостоятельность как целостного образования и, во-вторых, формирование и непрерывное развитие этого объекта во времени.

В.В. Докучаев умел видеть целостность состоящих из отдельных частей природных объектов в их развитии во времени, и не только видеть, но и применять это видение на практике при решении самых разнообразных проблем, связанных, прежде всего, с одним из природных естественноисторических тел – почвами. Изучение почвы как целостного природного образования началось только с В.В. Докучаева. Именно он ввел его в научный обиход, использовал впервые при определении понятия почвы, а позднее (Докучаев, 1899) применил это понятие к природному образованию другого порядка организации – к природным зонам, которые он в своем учении о зонах природы также отнес к образованиям такого типа.. В.И. Вернадский (1904) отмечал, что Докучаев рассматривал почвы как естественные тела, которые аналогично другим естественным природным телам (минералам, горным породам, организмам и т.п.) возникли в процессе развития природы во времени. Кроме того, он подчеркивал, что «Докучаев был одарен совершенно исключительной пластичностью воображения: по немногим деталям пейзажа он схватывал и рисовал целое в необычайно блестящей и ясной форме...» (Вернадский, 1904, цит. по 1988, с.277).

Этот новый подход явился поворотной вехой в истории развития не только почвоведения, но и всех естественных наук. Понятие естественноисторического тела, разработанное и введенное в научный обиход В.В. Докучаевым, стало ключевым (базовым) понятием всех наук, объединенных позднее А.Н. Тюрюкановым (1983, цит. по 2001) в биосферный класс. «Являясь элементарным (далее не разложимым без потери качества) оно стало исходным моментом, всеобщей и универсальной основой изучения биосферы и ее систем, тем зародышем, из которого развились все другие понятия биосферных наук» (Тюрюканов, 1983, цит. по 2001, с 159).

Именно с разработки В.В. Докучаевым основ генетического почвоведения и естественноисторического подхода к изучению почв, с его рекомендации исследовать с этих позиций все естественные природные тела, началась эра распространения этого подхода к

исследованию природных составляющих планеты и появления кроме генетического почвоведения ряда других фундаментальных учений, составивших в результате биосферный класс: о биосфере, биогеоценозах, ландшафтах, витасфере, экологии организмов и др.

Среди ученых, использовавших и развивавших этот подход при изучении разнообразных природных тел и внесших существенный вклад в его развитие, можно назвать многочисленную плеяду учеников, соратников и последователей В.В. Докучаева, в том числе особенно ярких представителей естественных наук, связанных с изучением биосферы и ее компонентов (подсистем) – Владимира Ивановича Вернадского, Владимира Николаевича Сукачева, Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского, Владимира Родионовича Волобуева и др.

Генетическое почвоведение, в основе которого лежат разработанные В.В. Докучаевым положения о происхождении почв и закономерностях распределения их в пространстве, явилось первой наукой, которая вместе с учением о биосфере и учениями о подсистемах биосферы разного уровня организации, составило новый отдельный класс естественных наук – биосферный.

Эта идея неизменно просматривалась в работах В.В. Докучаева, который писал: «Как известно, в самое последнее время все более и более формируется и обособляется одна из интереснейших *дисциплин* в области современного естествознания, именно учение о тех многосложных и многообразных *соотношениях и взаимодействиях*, а равно и *о законах*, управляющих вековыми *изменениями* их, которые существуют между так называемыми *живой и мертвой природой*, между а) поверхностными горными породами, б) пластикой земли, с) почвами, d) надземными и грунтовыми водами, е) климатом страны, f) растительными и g) животными организмами (в том числе и даже главным образом низшими) и человеком, гордым венцом творения» (Докучаев, 1951, с. 416). Он подчеркивал, что «... находясь... в самом центре всех важнейших отделов современного естествознания ... и составляя, может быть главное, центральное ядро его, стоит (не обнимая его, однако, вполне)...новейшее (*генетическое – М.Д.*) почвоведение» (там же, с. 417). Таким образом, необходимость расположения генетического почвоведения среди наук, которые направлены на выявление и изучение многообразных и сложных связей между мертвой и живой частями природы и которые позднее были выделены в класс биосферных, была определена уже В.В. Докучаевым.

Ученые, развивавшие основы наук биосферного класса, показали, что эти науки не могут быть отнесены к какому-то определенному разделу известных естественных дисциплин, а являются новым классом наук, каждая из которых образована взаимодействием разных научных направлений, представляющих собой некую целостность со своей специфичной методологией, направленной на решение проблем биосферы как сложной природной системы. Так, методологическая основа Учения о Биосфере, разработанного В.И. Вернадским, представляет собой целостную совокупность принципов, каждый из которых сам по себе не может решить проблемы, стоящие перед исследователями биосферы как сложной природной системы, но в своей совокупности играют роль надежного методологического инструмента, способствующего выявлению закономерностей функционирования сложных природных экосистем разного иерархического уровня.

Если говорить о генетическом почвоведении, то можно отметить, что развитие этой науки одной из главных задач постоянно ставило необходимость решения разных вопросов в рамках двух проблем, соответствующих обоснованным В.В. Докучаевым двум его направлениям: о генезисе почв и о географическом распределении почв в пространстве. Каждая из этих проблем требует ответа, прежде всего, на два вопроса: как, какими путями происходит формирование и распределение в географическом пространстве почв, и каковы причины определенной направленности этих процессов.

Для решения проблем генетического характера эти вопросы могут быть сформулированы так: как, путем каких механизмов образуется та или иная почва со специфическими в разных условиях признаками состава, строения и свойств и каковы причины, обуславливающие возникновение и направленность действия механизмов, приводящих к появлению той или иной почвы. Что касается географии почв, то здесь также стоят эти два вопроса: как распределены почвы в пространстве и в чем причины именно такого наблюдаемого в тех или иных условиях их распределения.

И в том, и в другом случае В.В. Докучаев выделял эти причины: он объяснял специфику почв и почвенного покрова особенностями *сочетания* факторов почвообразования: растительности и другой сопутствующей биоты, климата, рельефа, породы и времени. В интерпретации Докучаева факторы почвообразования и особенности их сочетания в каждом случае обуславливают специфичность состава, структуры и свойств почв и распределения их в

географическом пространстве *зональных* масштабов. На уровне таких масштабов качественные и полуколичественные характеристики факторов почвообразования вполне удовлетворяли исследователей. Что касается проблем, требующих количественных характеристик каждого из факторов, принимающих участие в формировании каждого индивидуального почвенного объекта, то есть уже не на зональном, а более мелком – региональном и, особенно, локальном – территориальном уровне, то решение любых вопросов, лежащих в рамках этих проблем, потребовало иных подходов, которые бы позволяли выявлять *количественные параметры* причин *появления* тех или иных механизмов, приводящих к возникновению определенных количественных показателей свойств конкретных почв.

Все многочисленные работы В.В. Докучаева в явном или скрытом виде настраивали исследователей на поиск решений вопросов, связанных с *причинной обусловленностью* проявления тех или иных механизмов и формирующихся специфических почвенных свойств как результата их действия, а также причинами, объясняющими специфику распределения почв в географическом пространстве.

Л.И. Прасолов был первым, кто увидел в работах В.В. Докучаева возможность разделения исследований, отвечающих на эти два вопроса (как и почему?). Уже в 20-х годах XX столетия Л.И. Прасолов обратил внимание исследователей на то, что «выяснение причинной зависимости свойств почв» стоит выделить в отдельный раздел генетического почвоведения – «учение об отношении почв к окружающим их условиям», которое можно было бы обозначить как педоэкологию или экологию почв (Прасолов, 1923). Долгое время термин «экология почв» не использовался даже в работах эколого-генетической направленности, однако в дальнейшем в исследованиях, посвященных выявлению причинной зависимости свойств почв от состояния окружающей среды, он стал употребляться все чаще и, в конечном итоге, к настоящему времени этот раздел генетического почвоведения занял свое место в системе наук биосферного класса (Дергачева, 2009).

Хотя В.В. Докучаев не пользовался термином «экология почв», экологичность его мышления при изучении почв в явном или неявном виде просматривается практически во всех основных его публикациях и, прежде всего, в определении самой почвы. Он постоянно заострял внимание на необходимости изучения «генетической вековечной, всегда закономерной связи, какая существует между телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растениями, животными и минеральными царствами» (Докучаев, 1949). Он неоднократно подчеркивал мысль о том, что при решении любых вопросов почвоведения, тем более при управлении почвой с целью чисто практической, необходимо иметь ввиду, по возможности, всю единую цельную и нераздельную природу, а не отрывочные ее части, непременно рассматривая вопрос о закономерных соотношениях между характером и распределением почв и факторами-почвообразователями. Б.Б. Польшов (1946, с. 341) подчеркивал, что «Докучаевское почвоведение является первой синтетической отраслью естествознания, изучающей не одну какую-либо категорию природных тел и явлений, но сложные взаимоотношения между организмами (живой природой) и горными породами (мертвой природой)». В.Р. Волобуев отмечал, что начала экологии почв просматриваются у В.В. Докучаева уже «в сопоставлении границ черноземной полосы с изотермами как методе нахождения коррелятивной связи между почвами и климатическими условиями, в нахождении связи между распространением тех или других почв и элементами рельефа...» (Волобуев, 1983, с. 9). Экологическая направленность работ В.В. Докучаева отмечалась многими исследователями (например, Г.В. Добровольским и др., 1983; Г.В. Добровольским, 1996; Л.О. Карпачевским, 1996; А.Н. Тюрюкановым, 2001; и др.), а выдающийся эколог XX века Ю. Одум назвал Докучаева одним из первых русских экологов (Одум, 1975, с. 17).

Несмотря на ощущавшуюся необходимость выделения и развития экологии почв, которая бы занималась расшифровкой причин возникновения специфичности состава, структуры и свойств почв, не затрагивая механизмы их происхождения, предложение Л.И. Прасолова (1923) не имело сначала отклика у ученых-почвоведов, и лишь тридцать лет спустя, в середине пятидесятых годов прошлого столетия, появилась первая из книг, непосредственно посвященная проблемам экологии почв – монография В.Р. Волобуева – «Почвы и климат» (1953), за которой затем последовали другие монографии этого автора: «Экология почв» (1963), «Система почв Мира» (1973), «Введение в энергетику почвообразования» (1974).

В этих работах В.Р. Волобуевым развивались собственные представления об экологии почв. Он считал, что экология почв – это учение о закономерных соотношениях между почвой и средой ее формирования в их взаимодействии и развитии, и подчеркивал, что «несомненно, предметом

экологии почв являются и те соотношения между почвой и средой, которые возникают при разного рода воздействиях на почву производственной деятельности человека» (Волобуев, 1963, с.9). И эта мысль также перекликается с взглядами Докучаева, который, как подчеркивал Д.Г. Виленский, «...никогда не отделял исследование почвы как естественно-исторического тела от изучения ее как средства производства» (Виленский. 1946, с. 350). Проводя оценку почв Нижегородской и Полтавской губерний, В.В. Докучаев предложил комплексный подход, включающий обследование их не только почвоведом, но и климатологами, ботаниками, агрономами и другими специалистами, и подчеркивал, что именно тщательное, разностороннее изучение почв «может и должно...способствовать развитию как местной, так и общей в России сельскохозяйственной производительности» (Докучаев, 1949, с. 345). В книге «Наши степи прежде и теперь» (Докучаев, 1892) он представил комплексную, по сути своей экологически обоснованную, программу изучения степных почв для преодоления последствий засухи. Г.В. Добровольский подчеркивал, что «Докучаев по своему научному мировоззрению, по направлению своей научной работы был не только почвоведом, но и подлинно выдающимся экологом», «...комплексность и направленность подходов Докучаева к изучению природы и хозяйственной деятельности человека в полной мере соответствует тому широкому значению, которое придается... дисциплине... [именуемой – М.Д.] экологией...» (Добровольский, 1996, с. 6).

В.Р. Волобуев, развивая основы экологии почв, отмечал, что обобщение имеющихся огромных материалов, как и его теоретическое осмысливание наиболее эффективны будут в том случае, когда экология почв будет рассматриваться как *отрасль почвоведения, специально посвященная выявлению и характеристике закономерных соотношений между почвой и почвообразователями* (Волобуев, 1963, с. 9).

В.Р. Волобуев много сделал для развития и выделения в отдельный раздел почвоведения экологии почв. Им разработаны и реализованы оригинальные методы почвенно-экологического анализа, обоснованы закономерности в системе «фактор почвообразования – почвы», причем наиболее детально проанализированы и описаны закономерности в системе «климат – почвы» на основе предложенной им гидротермической системы, отражающей связи почв с климатом. В рамках этой системы им выделены термо- и гидроряды с определенными грациями тепла и увлажненности, дано термодинамическое обоснование соотношений «почва – растение – климат». С использованием специфики типов органо-минеральных реакций в экологическом гидротермическом пространстве (то есть на принципиально новой основе) Волобуевым создана классификация почв Мира (Волобуев, 1973). Им также разработано новое направление в рамках экологии почв – «учение об энергетике почвообразования» (Волобуев, 1974)

Именно этот ученый впервые представил подробные количественные параметры основных факторов почвообразования для разных участков экологического пространства, позволивших акцентировать внимание на причинах, обуславливающих специфические черты почв разных условий формирования и особенностях распределения их в географическом пространстве, то есть рассматривал взаимосвязи почва – факторы на строго количественной основе.

Появление серии фундаментальных работ В.Р. Волобуева, тем не менее, не убедили ученых-почвоведов в необходимости развивать экологию почв как самостоятельный раздел генетического почвоведения. Кроме того, как многие ученые, решавшие проблемы в рамках почвоведения, так и ученые других специальностей, продолжали считать неправомерным использование словосочетания «экология почв», считая почву в рамках экологии только средой, с которой взаимодействует живое.

И.А. Соколов (1993) понимал экологию почв как учение о законах, описывающих зависимость почв от факторов почвообразования. Он много внимания уделял разработке методологических основ этой науки: предложил понятийно-терминологический аппарат, систему методов, принципов и законов (общих закономерностей) экологии почв. Эта работа в XX веке была одной из наиболее продвинутых в методологическом отношении. В ряде статей и в разделе книги «Теоретические проблемы генетического почвоведения» (Соколов, 1993), он показал, что термин “экология почв” правомочен, а предметом экологии почв является изучение закономерностей, действующих в системе «почва – факторы». Более того, он считал, что эта область почвоведения равноправна с другими его разделами, и писал: «есть все основания считать, что теоретической базой современного почвоведения является неразрывное единство трех самостоятельных разделов: учения о генезисе почв, учения об экологии почв и учения о географии почв» (Соколов, 1993, с.64). Он подчеркнул ряд важнейших положений о том, что «экология почв может рассматриваться как связующее звено между учениями о генезисе и географии почв», и что,

в отличие от учения о генезисе, экология почв не занимается механизмами формирования почвенных свойств, в отличие от географии, она изучает распределение почв не в реальном географическом пространстве, а в абстрактном многомерном координатном экологическом (факторном). Единство этих трех разделов и составляет ядро фундаментального почвоведения, на котором базируются все его прикладные ветви» (Соколов, 1993, с. 65).

Таким образом, к концу XX века, благодаря работам Л.И. Прасолова, В.Р. Волобуева, И.А. Соколова и других ученых, были разработаны многие методологические и методические вопросы в рамках экологии почв как одного из разделов теоретического почвоведения.

Интерес к экологии почв особенно возрос, и рамки содержания этой науки расширились, когда Г.В. Добровольский и Е.Д. Никитин (2006) стали рассматривать разработанное ими учение об экологических функциях почв в качестве раздела экологии почв, выделив наряду с ним также факторную экологию почв, созданную ранее трудами вышеназванных ученых. Факторная экология почв давала возможность изучения почвы как «черного ящика», но при этом закономерности ее внутренних превращений оказывались за пределами интересов этого раздела науки.

В это же время, во второй половине XX века, произошла смена общенаучной парадигмы: был разработан системный подход, что способствовало развитию и совершенствованию методологии естественных наук и появлению возможности анализа сложных природных систем на другом уровне. Учитывая произошедшее в последнее время смещение акцентов понятия экологии как биологической науки о взаимоотношении живых организмов с окружающей их средой (Розенберг, 1999) к понятию экологии как науки о взаимоотношении с окружающей средой не только живого, но и объектов в центре с живым (Реймерс, Яблоков, 1982), почва как природное естественноисторическое биокосное тело (то есть тело в центре с живым) стала равноправным объектом экологии, поскольку она как целостное образование в свою очередь взаимодействует с комплексом факторов неживой природы, представляющих для нее внешнюю среду.

И, таким образом, развитие и использование системного подхода как методологической основы анализа сложных природных систем, в том числе и биокосных, в которых, как и в экосистемах, живая и неживая части находятся в тесном взаимодействии и представляют собой целостность, дало основание рассматривать почву как естественноисторическое тело в центре с живым с позиций функционирования природных экологических систем (Дергачева, 2009). В этом случае понятие объекта и предмета экологии почв может быть сформулировано следующим образом: объект – это почва как система биосферного типа, то есть открытая природная саморегулируемая система, являющаяся подсистемой биосферы; предметом в этом случае может выступать познание структурно-функциональной организации почвы, и реализация ими функций или общие законы функционирования почвы как системы биосферного типа. И тогда экология почв, как и другие науки об экосистемах, должна решать проблемы, связанные не только с внешними ее связями (то есть с вещественно-энергетическим обменом почв с окружающей их средой), но и с внутренними связями (процессами обмена вещества, энергии и информации внутри почвы), а также с реализацией почвами функций разного уровня в биосфере.

Таким образом, *экология почв* занимает место в системе биосферных наук, с одной стороны, как составная часть генетического почвоведения в виде раздела о ее внешних связях, в рамках которого она призвана отвечать на вопрос о *причинах* формирования почв с определенными – специфичными – признаками состава, структуры и свойств, с другой, – являясь подсистемой биосферы, она может выступать как самостоятельная наука биосферного класса, поскольку направлена на решение проблем, связанных с причинной обусловленностью происходящих в почвах процессов и явлений, а также реализации функций разного уровня, и в ее основе лежат иные, чем для других разделов естественных наук, в том числе и почвоведения, специфические методологические и методические подходы, а также принципы интерпретации материалов исследования.

Но, как бы ни рассматривалась экология почв в рамках класса биосферных наук, ясно одно, что в ее основе лежит понимание целостности живых организмов и неживой природы, рассматриваемой в ее функционировании в пространстве и во времени, что постоянно в своих работах подчеркивал В.В. Докучаев. Он никогда не изучал явления и процессы изолированно, а всегда в их взаимоотношении со всей совокупностью различных факторов, в чем и видны истоки экологии почв, которая призвана изучать с позиций естественноисторического и системного подходов почву как самостоятельное естественное природное тело, обладающее всеми характерными свойствами, присущими экосистемам.

Положения о целостности любых природных объектов, возникших в процессе их становления и эволюции, их взаимосвязи с окружающей средой, их развития во времени должны стоять во главе познания взаимоотношений природы и общества, а также любых исследований, связанных с функционированием и устойчивостью биосферы, в чем немаловажную роль играет экология почв. Идеи В.В. Докучаева прочно укоренились в научном мышлении ученых, работающих в области естественных наук, и именно работам такой направленности, такому подходу, такому способу мышления и взаимоотношений с природой принадлежит будущее.

ЛИТЕРАТУРА

- Вернадский В.И., 1904. (Цит. по В.И. Вернадский. Труды по истории науки в России. М.: Наука, 1988. 467 с.)
 Волобуев В.Р. *Почвы и климат*. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1953. 323 с.
 Волобуев В. Р. *Экология почв*. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1963. 549 с.
 Волобуев В.Р. *Система почв Мира*. Баку: Изд-во «ЭЛМ», 1973. 307 с.
 Волобуев В.Р. *Введение в энергетику почвообразования*. М.: Наука, 1974. 128 с.
 Волобуев В.Р. «Русский чернозем» и его значение для развития Докучаевского почвоведения // *Почвоведение*, 1983. №6. С. 5–12.
 Дергачева М.И. Экология почв: становление новой науки биосферного класса // *Сибирский экологический журнал*. 2009. №2. С.143–150.
 Добровольский Г.В., Розов Н.Н., Строганова М.Н. География черноземов, черноземных и черноземовидных почв Мира // *Почвоведение*. 1983. №6. С. 39–53.
 Добровольский Г.В. В.В. Докучаев как выдающийся эколог // *Вестник МГУ. Сер.17. Почвоведение*. 1996. №3. С. 3–8.
 Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. *Экология почв*. М.: Изд-во МГУ, 2006. 364 с.
 Докучаев В.В. *Наши степи прежде и теперь*. 1892. (Цит. по В.В. Докучаев. Избранные сочинения. М.: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1954. С. 449–512).
 Докучаев В.В. *К учению о зонах природы. Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны*. СПб, 1899. 28 с. (Цит. по Почвоведение, 1999. №7. С. 805–807).
 Докучаев В.В. *Сочинения*. М.: Изд-во АН СССР, 1951. Т. VI. С.416–417
 Докучаев В.В. *Избранные сочинения*. М.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. II.
 Карпачевский Л.О. Праздник мировой науки // *Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение*. 1996. №3. С. 8–18.
 Одум Ю. *Основы экологии*. М.: Изд-во Мир, 1975. 744 с.
 Польшов Б.Б. Роль В.В. Докучаева в развитии естествознания // *Почвоведение*. 1946. №6. С.341–342.
 Прасолов Л.И. *Почвенные исследования в России*. Петроград: Новая деревня, 1923. 63 с.
 Прасолов Л. И. *Генезис, география и картография почв*. М.: Наука, 1978. 263 с.
 Реймерс Н.Ф., Яблоков А.В. *Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы*. М.: Наука, 1982. 144 с.
 Розенберг Г.С. Анализ определений понятия «экология» // *Экология*. 1999. №2. С. 89–98.
 Соколов И.А. *Теоретические проблемы генетического почвоведения*. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма, 1993. 232 с.
 Тюрюканов А.Н. *Избранные труды: к 70-летию со дня рождения*. М.: РЭФИА, 2001. 308 с.
 Тюрюканов А.Н., Федоров В.М. Н.В. *Тимофеев-Ресовский: Биосферные раздумья*. М.: Изд. РАЕН, 1996. 368 с.

Поступила в редакцию 01.06.2021

Принята 05.06.2021

Опубликована 05.06.2021

Сведения об авторе:

Дергачева Мария Ивановна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Россия, Новосибирск); mid555@yandex.ru; dergacheva@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

THE ROLE OF V.V. DOKUCHAEV IN ESTABLISHING SOIL ECOLOGY
AS A SCIENCE OF THE BIOSPHERE CLASS

© 2021 M.I. Dergacheva 

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Lavrentieva, 8/2 Novosibirsk, 630090, Russia.
E-mail: mid555@yandex.ru

The article examines the role of the outstanding scientist Vasily Vasilyevich Dokuchaev, whose 175th anniversary was March 1, 2021, in the development of soil ecology as a science of the biosphere class. The natural history methodology, which he introduced into scientific use, is discussed; the methodology was a milestone in the development of not only genetic soil science, but also all natural sciences.

Key words: Vasily Vasilyevich Dokuchaev; natural history methodology; biosphere class sciences; soil ecology

How to cite: Dergacheva M.I. The role of V.V. Dokuchaev in establishing soil ecology as a science of the biosphere class // *The Journal of Soils and Environment*. 2021. 4(1). e140. doi: [10.31251/pos.v4i1.140](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.140) (in Russian with English abstract)

REFERENCES

- Vernadsky V. I. 1904. V.I. Vernadsky. *Works on the history of science in Russia*. Moscow: Nauka Publ., 1988, 467 p. (in Russian)
- Volobuev V. R. *Soils and Climate. Baku*. AN Azerb SSR Publ., 1953, 323 p. (in Russian)
- Volobuev V. R. *Ecology of Soils Baku*. AN Azerb SSR Publ., 1963, 549 p. (in Russian)
- Volobuev V. R. *Soil system of the World*. Baku. Elm Publ., 1973, 307 p. (in Russian)
- Volobuev V.R. *Introduction to the energetics of soil formation*. Moscow: Nauka Publ., 1974, 128 p. (in Russian)
- Volobuev V. R. "Russian chernozem" and its significance for the development of Dokuchaevsky soil science, *Pochvovedenie*, 1983, V. 6, p. 5–12. (in Russian)
- Dergacheva M.I. Ecology of soils: formation of a new Science of the Biosphere class, *Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal*, 2009, Vol.16, Iss.2. p.143-150. (in Russian)
- Dobrovolsky G.V. V. V. Dokuchaev as an outstanding ecologist, *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 17. Pochvovedenie*, 1996, No3, p. 3–8. (in Russian)
- Dobrovolskii G.V. Nikitin E. D. *Ecology of soils*. Moscow: MGU Publ., 2006, 364 p. (in Russian)
- Dobrovolskii G.V. Rozov N. N., Stroganova M. N. Geography of chernozems, chernozem and chernozem-like soils of the World, *Pochvovedenie*, 1983, Iss.6, p. 39–53. (in Russian)
- Dokuchaev V. V. *Our steppes before and now*. 1892 Quoted according to V.V. Dokuchaev. *Selected Works*. Moscow: State Publ. For Agricultural Literature, 1954, p. 449–512. (in Russian)
- Dokuchaev V. V. *About the doctrine of zones of nature. Horizontal and vertical soil zones*. Sanct-Peterburg: 1899, 28 p. (in Russian)
- Dokuchaev V. V. *Compositions*. Moscow: AN SSSR Publ., 1951, V. VI. p.416–417. (in Russian)
- Dokuchaev V. V. *Selected Works*. Moscow: AN SSSR Publ., 1949, V. II, p.345. (in Russian)
- Karpachevsky L. O. World Science Festival, *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 17. Pochvovedenie*, 1996, No. 3, p.8 18 (in Russian)
- Odum I.U. *Fundamentals of Ecology*. Moscow: Mir Publ., 1975, 744 p. (in Russian)
- Polynov B. B. The role of V.V. Dokuchaev in the development of natural science, *Pochvovedenie*, 1946, No.6, p. 341–342. (in Russian)
- Prasolov L. I. *Soil research in Russia*. Petrograd: Novaia derevnia, 1923, 63 p. (in Russian)
- Prasolov L. I. *Genesis, geography and cartography of soils*. Moscow: Nauka Publ., 1978, 263 p. (in Russian)
- Reimers N. F., Yablokov A. V. *Glossary of terms and concepts related to the protection of wildlife*. Moscow: Nauka Publ., 1982, 144 p. (in Russian)
- Rozenberg G. S. Analysis of the definitions of the concept of "ecology", *Ecology*, 1999, No. 2, p.89–98. (in Russian)
- Sokolov I. A. *Theoretical problems of genetic soil science*. Novosibirsk: Nauka Publ. SB RAS, 1993, 232 p. (in Russian)
- Tyuryukanov A.N. *Selected Works: towards the 70th Birthday Anniversary*. Moscow: REFIA, 2001, 308 p. (in Russian)
- Tyuryukanov A.N., Fedorov V.M. Timofeev-Resovsky N.V. *Biosphere Meditations*. Moscow: RAEN Publ., 1996, 368 p. (in Russian)

Received 01 June 2021

Accepted 05 June 2021

Published 05 June 2021

About the author:

Dergacheva Maria I. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher of the Laboratory of Biogeocenology of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Russia, Novosibirsk); mid555@yandex.ru; dergacheva@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)