

DOI: 10.18522/2308-9709-2024-49-5

Особенности реплантированных почв Ростовской агломерации

Горбов С. Н., Тагивердиев С. С., Скрипников П. Н., Терехов И. В.,
Сальник Н. В., Безуглова О. С.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Изучение реплантоземов в условиях Ростовской агломерации, включая их морфологические свойства, содержание углерода, динамику эмиссии углерода, физические характеристики, показало, что мощность этих почв варьирует от 10 до 34 см, а под слоем реплантанта зачастую содержатся погребенные гумусовые слои, унаследованные от нативных черноземов. Антропогенные включения редки, но встречаются корни и камни. Среднее содержание органического углерода (С орг.) в исследуемых почвах составляет $2,52 \pm 0,51$ %, что меньше, чем в черноземах залежных участков ($3,25 \pm 0,94$ %). Наибольшее содержание С орг. зафиксировано в почве парка Осенний ($2,99 \pm 0,31$ %), наименьшее – в сквере Локомотив ($1,83 \pm 0,42$ %). Эмиссия углерода растет с апреля по июль, затем снижается в августе-сентябре. Наибольшая интенсивность эмиссии зафиксирована на площадке Гольф&Кантри клуба «Дон», что обусловлено регулярным уходом и поливом. Общая пористость горизонтов RAT составляет 33–48 %, что близко к показателям природных черноземов (44 %). Гранулометрический состав горизонтов RAT преимущественно тяжелосуглинистый и схож с таковым в естественных черноземах обыкновенных карбонатных, преобладают фракции 0,25–0,05 и <0,001 мм, редко, но встречаются и реплантоземы облегченного гранулометрического состава. Плотность сложения в реплантированных почвах часто высока уже

под реплантурируемым слоем, что может негативно сказаться на росте растений и эрозионных процессах.

Ключевые слова: реплантоземы, конструктороземы, черноземы, углерод гумуса, гранулометрический состав, структура, плотность

DOI: 10.18522/2308-9709-2024-49-5

Features of Replanted Soils of the Rostov Agglomeration

Gorbov S. N., Tagiverdiev S. S., Skripnikov P. N., Terekhov I.V., Salnik N.V., Bezuglova O. S.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract. The study of replantozems in the Rostov agglomeration, including their morphological properties, carbon content, dynamics of carbon emissions, and physical characteristics, showed that the thickness of these soils varies from 10 to 34 cm, and under the layer of replantant there are often buried humus layers inherited from native chernozems. Anthropogenic inclusions are rare, but roots and stones can be found. The average organic carbon content ($C_{org.}$) in the studied soils is 2.52 ± 0.51 %, which is lower than in chernozems of fallow areas (3.25 ± 0.94 %). The highest $C_{org.}$ content was recorded in the soil of Osenny Park (2.99 ± 0.31 %), and the lowest in Lokomotiv Square (1.83 ± 0.42 %). Carbon emissions increase from April to July, then decrease in August-September. The highest emission intensity was recorded at the Golf & Country Club "Don" site, due to regular maintenance and watering. The total porosity of the RAT horizons ranges from 33 to 48 %, which is close to that of natural chernozems (44 %). The granulometric composition of the RAT horizons is predominantly heavy loamy and similar to that in natural ordinary calcareous chernozems, with fractions of 0.25-

0.05 and <0.001 mm predominating; however, light-textured replantozems also occur rarely. The compaction density in replanted soils is often high already below the replanted layer, which may negatively affect plant growth and erosion processes.

Keywords: replantozems, constructozems, chernozems, humus carbon, particle size distribution, structure, density.

Введение. Нативные почвы Ростовской агломерации – черноземы обыкновенные карбонатные – отличаются высоким плодородием и даже старопахотные поверхностные горизонты этих почв характеризуются содержанием гумуса в 3,5–4,0 %. Именно они зачастую и используются в качестве рекультивантов поверхностных горизонтов городских почв при их загрязнении, истощении либо захламлении, что отражается в сметах как «засыпка черноземом». Для Ростовской агломерации в силу зональных особенностей рекультивационный компостно-гумусовый горизонт (РАТ) до целенаправленного перемещения его в городскую среду чаще всего представлял собой гумусово-аккумулятивный горизонт черноземов, реже – аллювиальных почв или лугово-черноземных почв, в связи с чем в условиях Ростовской агломерации это не компостно-гумусовый горизонт, а просто гумусовый. Эта особенность реплантоземов Ростовской агломерации обусловлена тем, что поверхностные гумусово-аккумулятивные горизонты нативных почв – это единственно возможный в регионе вариант для реплантирования городских почв. Применение торфа, торфокомпостных смесей, сапропелей широко распространенное в городах таежно-лесной зоны, в южных городах экономически нецелесообразно в силу отсутствия в непосредственной близости подобных источников сырья. А масштабные дорожно-строительные работы вокруг Большого Ростова, технологически

предопределяют срезку верхнего плодородного слоя и регламент обязывает подрядчиков весь объем извлеченных почвенных масс складировать для целей дальнейшей рекультивации.

В условиях Ростовской агломерации именно рекультивационно-гумусовые горизонты в означенном выше варианте являются диагностическими при выделении реплантоземов и конструктоземов. При этом они уже встроены в Классификацию почв России (2004), из которой следует, что данные типы городских почв, представляя собой почвоподобные тела, попадают в группу квазиземов в отделе техногенных поверхностных образований (ТПО).

Однако следует обозначить разницу между двумя рукотворными типами почв – реплантоземы и конструктоземы. «Конструктоземы – почвы, формирующиеся на специально отсыпанных грунтах со слоистой вертикальной структурой, задаваемой исходя из гидрогеологических условий, характера формируемых на них зеленых насаждений и положения в рельефе»¹. Иными словами, это полностью искусственные почвы, формируемые в соответствии с целями и задачами заказчика, и с обязательным учетом климатических условий. Тем не менее какие-то слои конструктоземов могут представлять собой перемещенные горизонты естественных почв. Чаще всего это гумусово-аккумулятивный слой зональной почвы.

Термин «реплантоземы» был предложен И. А. Крупениковым и Б. П. Подымовым при разработке ими Классификации почв Молдавии (1987). Согласно их предложению реплантоземы представляют собой целенаправленно созданные образования, которые характеризуются

¹ Приказ Министерства регионального развития РФ от 27 декабря 2011 г. N 613 "Об утверждении Методических рекомендаций по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований" // Докипедия: <https://dokipedia.ru/document/5180213>

залеганием гумусированного или минерально-органического плодородного слоя на предварительно подготовленной (обычно спланированной) поверхности нарушенных грунтов, в том числе насыпных. Такое же толкование термина дано в «Классификации почв России» (2008).

Однако в такой трактовке реплантозем и конструкторзем являются, по сути, синонимами. Но это не так. Нам представляется, что конструкторзем – это полностью сконструированное почвоподобное образование с заданными свойствами. Т.В. Прокофьева с соавторами (2011) отмечает, что конструкторземы «от реплантоземов отличаются большей мощностью отсыпки с контролируемыми свойствами и сложностью конструкции, которая может включать в себя инженерные сооружения (оросительные, осушительные системы и др.)». В условиях Ростовской агломерации реплантозем – это рекультивант, образованный путем преимущественного одномоментного нанесения плодородного или потенциально плодородного слоя почвы на почвенную основу, представляющую собой деградированную, чаще всего за счет скальпирования (снятия) верхнего слоя, почву. Отсюда и разное назначение таких почвоподобных образований. Конструкторземы – это поверхностные искусственные образования, применяющиеся при закладке газонов, а также на футбольных и гольф-полях. При этом их конструкции характеризуются большей сложностью и различаются в соответствии с теми основными задачами, которые они призваны выполнять. Например, для футбольных полей – это, прежде всего, устойчивость к повышенным нагрузкам.

В условиях Ростовской агломерации реплантоземы широко распространены среди новостроек, когда плодородный слой, представленный горизонтом А (AU) либо В1 (AU) черноземов, используют для покрытия

придомовых территорий, скальпированных во время строительства. Нередко применяется двухслойная засыпка, имитирующая природную ситуацию: сначала укладывается слой, представленный горизонтом В1 (AU), а сверху засыпается слой, состоящий из горизонта А (AU). Там, где зональные почвы представлены менее плодородными и менее мощными почвами, чем черноземы, роль реплантанта выполняют насыпные компостно-гумусовые смеси. Однако учитывая, что масса почвы оказывается перемешанной, ее структура нарушена в ходе снятия, транспортировок, складирования, нанесения на деградированную основу даже в том случае, когда в качестве реплантанта используется только горизонт А (AU) чернозема, такой горизонт получил название рекультивационный компостно-гумусовый (РАТ), и как уже было отмечено выше, для условий Ростовской агломерации правильнее называть такой горизонт «гумусовый». Таким образом, рекультивационный компостно-гумусовый горизонт РАТ согласно дополнению к классификации почв России 2004 года (Прокофьева и др., 2014) определяется как насыпной компостный, торфокомпостный или гумусированный материал, используемый для рекультивации и слабо измененный почвообразованием.

Морфологически, профили урбостратоземов «реплантоземов», в которых отсутствуют горизонты урбик (UR), отличаются большим сродством между погребенной и реплантированной частью профиля, что порой делает их диагностику довольно сложной. При этом в старой части города и в зонах высокого антропогенного воздействия реплантоземы без горизонтов UR зачастую отсутствуют, поскольку рекультивация с удалением всех горизонтов UR при отсутствии превышений ПДК и ОДК загрязняющих веществ экономически нецелесообразна. Также важно отметить высокую долю урбистратифицированных почв именно среди рекультивированных, их

отличительной чертой является мощность антропогенных горизонтов, которая не превышает 40 см.

Цель данного исследования – показать особенности реплантационных почв, формируемых в условиях Ростовской агломерации.

Объекты и методы. Было заложено 9 разрезов (7 на реплантационных антропогенно-преобразованных почвах и 2 на фоновых участках), помимо этого отобрано по 10 поверхностных проб возле каждого почвенного разреза. Глубина изученных профилей варьировала от 110 до 200 см в зависимости от мощности антропогенной толщи и сохранившегося погребенного нативного профиля, при этом по причине административных ограничений (невозможность нарушения газонного покрытия на большой площади) отдельные разрезы закладывали мощностью 50 см, а глубже осуществляли бурение. На всех точках мониторинга проводили описание почвенного разреза/скважины, с последующим отбором почвенных проб для определения химических и физических свойств почв.

Контрольные разрезы закладывали на том же подтипе чернозема, на территориях, традиционно используемых в качестве фоновых, и находящихся в границах Ростовской агломерации. Основной контрольный разрез (ФОН1) заложен на старозалежном участке Ботанического сада ЮФУ (N 47.237474° / E 39.656657°; 55 м над ур. м), и представлен черноземом миграционно-сегрегационным. Дополнительный контрольный разрез (ФОН2), был заложен на территории целинного участка ООПТ «Персиановская заповедная степь» (N 47.237474° / E 39.656657°; 88 м над ур. м). Почва – чернозем миграционно-сегрегационный среднегумусированный карбонатный мощный тяжелосуглинистый на лессовидной глине (Calcic Chernozem (Loamic, Pachic)

– здесь и далее согласно международной классификации почв WRB, 2022 (Мировая реферативная..., 2024)).

На основе морфологических характеристик изученных антропогенно-преобразованных почв, получена выборка профилей (рис. 1), соответствующих следующим разновозрастным реплантоземам:

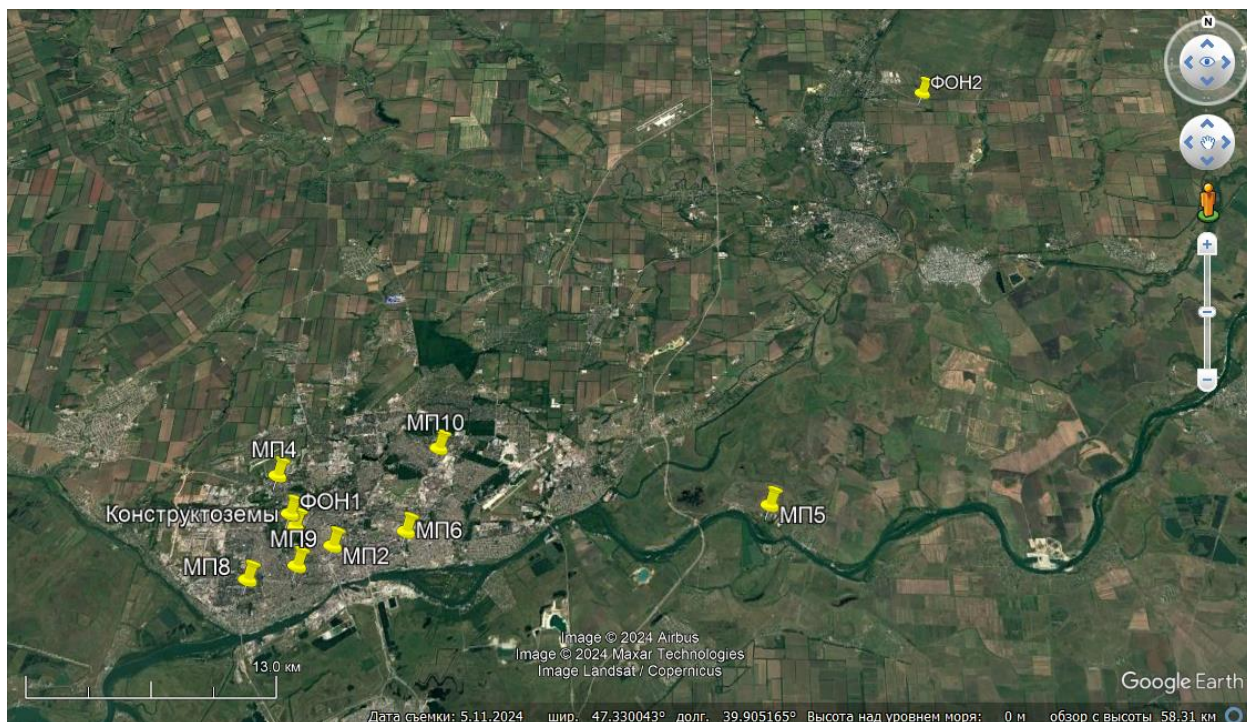


Рис.1 – Карта с отмеченными площадками мониторинга, фоновыми разрезами и стационаром

Мониторинговая площадка МП10 (N 47.273897° / E 39.760308°; 87 м над ур. м). Возраст горизонта RAT – 4 года. Почва – урбистратифицированный (репланированный) чернозем миграционно-сегрегационный среднегумусированный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке (Calcic Chernozem (Loamic, Pantotransportic)).

Мониторинговая площадка МП9 (N 47.211555° / E 39.667590°; 88 м над ур. м), возраст горизонта RAT 5 лет. Почва – урбостратозем (реплантозем) на черноземе миграционно-сегрегационном малогумусированном сверхмощном на лессовидном суглинке (Urbic Technosol (Loamic, Mollic, Pantotransportic) over Calcic Chernozem (Pachic)).

Мониторинговая площадка МП4 (N 47.257182° / E 39.642747°; 88 м над ур. м). Возраст горизонта RAT – 6 лет. Почва – урбостратозем (реплантозем) тяжелосуглинистый на черноземе миграционно-сегрегационном малогумусированном тяжелосуглинистом на лессовидном суглинке (Urbic Technosol (Loamic, Mollic, Pantotransportic) over Calcic Chernozem (Loamic, Pachic)).

Мониторинговая площадка МП8 (N 47.204167° / E 39.633889°; 63 м над ур. м). Возраст горизонта RAT – 8 лет. Почва – урбостратозем (реплантозем) среднесуглинистый на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном малогумусированном тяжелосуглинистом на лессовидном суглинке (Urbic Technosol (Loamic, Mollic, Pantotransportic) over Calcic Chernozem (Loamic, Pachic)).

Мониторинговая площадка МП2 (N 47.221893° / E 39.691148°; 2 м над ур. м). Возраст горизонта RAT – 12 лет. Почва – Урбостратозем (реплантозем) среднесуглинистый (Urbic Technosol (Loamic, Pantotransportic)).

Мониторинговая площадка МП6 (N 47.230107° / E 39.742878°; 81 м над ур. м). Возраст горизонта RAT – 12 лет. Почва – Урбистратифицированный (репланированный) чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке (Calcic Chernozem (Loamic, Pantotransportic)).

Мониторинговая площадка МП5 (N 47.248143° / E 40.007407°; 20 м над ур. м). Возраст горизонта RAT – 17 лет. Почва – Урбостратозем (конструктозем) на аллювиальной темногумусовой тяжелосуглинистой почве (Urbic Technosol (Loamic, Mollic, Transportic)).

Отдельным объектом мониторинга выступали реплантоземы и конструктоземы с заданными свойствами, созданные на Стационаре по изучению почвенных конструкций («Почвенный стационар») на базе Ботанического сада ЮФУ. Стационар был основан в сентябре 2020 г., и прошел модернизацию в марте 2023, таким образом возраст горизонта RAT составил 3 года.

Изначально «Почвенный стационар» включал 8 различных по составу конструкций, для настоящего проекта были задействованы только четыре из них. Все площадки специфичные и привязаны к тем почвенным вариантам, которые возможны при создании конструктоземов в условиях Ростовской агломерации. В качестве материалов использовали идентичные лёссовидный суглинок, гумусово-аккумулятивный горизонт чернозема и песок среднезернистый.

Конструкция 2 – поверхностный горизонт мощностью 20 см сформирован смесью гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема + песок (ГАГ + П) в равных долях (1 : 1) (ГАГ + П). Подстилающим горизонтом служит лёссовидный суглинок мощностью 20 см. Название созданного типа почв: Реплантозем на лёссовидном суглинке Urbic Technosol (Arenic, Mollic, Transportic).

Конструкция 4 – поверхностный горизонт мощностью 20 см сформирован послойным расположением песка (5 см) на гумусово-аккумулятивном горизонте чернозема (15 см), П/ГАГ. Подстилающий горизонт – лёссовидный

суглинок мощностью 20 см. Название созданного типа почв: Конструктозем на лессовидном суглинке Urbic Technosol (Arenic, Mollic, Transportic)

Конструкция 5 – поверхностный горизонт мощностью 20 см сформирован гумусово-аккумулятивным горизонтом чернозема (ГАГ). Подстилающий горизонт – лёссовидный суглинок мощностью 20 см. Название созданного типа почв: Реплантозем на лессовидном суглинке Urbic Technosol (Mollic, Transportic)

Конструкция 7 – поверхностный горизонт мощностью 20 см сформирован смесью песок + лёссовидный суглинок 1:1. Подстилающий горизонт – лёссовидный суглинок мощностью 20 см. Название созданного типа почв: Конструктозем на лессовидном суглинке Urbic Technosol (Arenic, Loamic, Transportic).

На первичных этапах создания конструкций производили углубление выбранной территории до 40–50 см с выемкой горизонтов урбик. Под конструкции 2–7 укладывали лёссовидный суглинок, отобранный с водораздельной территории г. Ростов-на-Дону с глубины 2–5 м. На следующем этапе на подготовленном основании размещали деревянные каркасы будущих площадок высотой и размером 2.0 × 2.0 × 0.25 м и прокладывали автоматическую систему полива таким образом, чтобы трубы и оросители не попадали внутрь будущих конструкций. В дальнейшем каркасы заполняли материалом согласно схеме, описанной выше. Таким образом создаваемые конструктоземы располагаются на техногенных образованиях и не несут под собой погребенных нативных почв.

Создаваемое газонное покрытие было идентичным на всех площадках, представляя собой травосмесь следующего состава: мятлик луговой – *Poa pratensis* (35 %), овсяница красная – *Festuca rubra rubra* (35 %), плевел

многолетний – *Lolium perenne* (30 %). Посев осуществляли 15 сентября 2020 г. с нормой высева 35 г/м².

В течение вегетационного сезона вносятся два вида удобрений – карбамид и азофоска (16 : 16 : 16). Расчет удобрений проводится по азоту, как действующему веществу, при этом используется доза не более 5 г N/м², исключая активный рост биомассы. В весенний и летний периоды на конструкциях с присутствием гумусово-аккумулятивных масс в составе корнеобитаемого слоя используется только карбамид, на всех остальных вариантах – азофоска. В раннеосенний период на всех конструкциях в качестве удобрений вносится азофоска.

Автоматическая система полива обеспечивала регулярное орошение в весенний период в среднем четыре раза в неделю в норме 3–5 л/м² в сутки в зависимости от количества выпавших осадков; в летний период ежедневно в норме 5–10 л/м² в сутки, в период с сентября по ноябрь – три раза в неделю, в норме 3–5 л/м² в сутки.

Кошение газона осуществляли по мере отрастания травостоя выше 80–100 мм. Высота кошения в весенний период составляла 35 мм, летний и осенний периоды – 45–50 мм.

Измерение эмиссии углерода реплантированными почвами проводили как на всех описанных выше конструкциях экспериментального почвенного стационара, так и на точках мониторинга МП5, МП6, МП8, локализованных на территории Ростовской агломерации, что позволило охватить различные и разновозрастные типы почвенных конструкций:

- конструктороземы на лессовидном суглинке (конструкции 2, 4, 5, 7; RAT = 3 года);
- реплантiroванный урбостратозем на черноземах миграционно-сегрегационных (МП8; RAT = 8 лет);
- реплантiroванный урбистратифицированный чернозем миграционно-сегрегационный (МП 6; RAT = 12);
- Урбостратозем (конструкторозем) на аллювиальной темногумусовой тяжелосуглинистой почве (МП 5; RAT = 17 лет).

Учет эмиссии CO₂ проводили раз в месяц с апреля по октябрь. Потоки CO₂ измеряли с помощью инфракрасного газоанализатора AZ 7752 (Burba 2013) в первой половине дня. В почву устанавливали изоляторы (базы) каждый раз перед измерением на одно и то же место, на глубину 3–5 см, согласно методике измерения, предложенной Карелиным с соавторами (Карелин и др., 2015). Параллельно фиксировали температуру почвы на глубине 1 и 10 см и температуру воздуха на уровне ~1 м с помощью цифрового термометра HI98501, объемную влажность почвы по ее диэлектрической проницаемости в десятисантиметровом слое (Delta-T SM 150). На основании полученных данных производили промежуточные расчеты потоков в мкмоль CO₂ (м² с) по уравнению Менделеева–Клапейрона и пересчет в г C/(м² ч) (или сут).

Содержание общего ТС, неорганического IC, органического углерода ТОС определяли методом каталитического сжигания на приборе ТОС-L CPN Shimadzu в приставке для сухих образцов SSM-5000A. Анализ происходит в два этапа, ТС определяется при температуре 900°C, IC при температуре 200°C с добавлением ортофосфорной кислоты, ТОС определяется расчетным способом по формуле $ТОС = ТС - IC$.

Содержание CaCO_3 определяли по Кудрину. Гранулометрический состав в горизонтах RAT и AU – методом пипетки по Качинскому в модификации Долгова-Личмановой с использованием в качестве диспергирующего вещества пирофосфата натрия. Плотность сложения определяли методом режущего кольца. Структурное состояние определяли в горизонтах RAT и AU методом Саввинова (сухое просеивание).

Микротомографию почвенных монолитов определяли в образцах конструкторземов 2, 4, 5, 7, экспериментального почвенного стационара, а также в поверхностном горизонте разреза ФОН1. Образцы сняты с сохранением естественной структуры (не насыпные), аккуратно вырезаны из пласта почвы, помещены в герметичные цилиндры диаметром 4,5 см. Томографическая съемка и анализ результатов выполнены в Почвенном институте им. В.В. Докучаева. Съемка осуществлена на микротомографе Bruker SkyScan 1172 при разрешении 10 мкм. Томографические данные сегментированы на две рентген-контрастных фазы (поровое пространство и почва). Для расчетов пористости использовано ПО Bruker CTan 1.20. Соотношение пор считается от объема порового пространства, приходящегося на закрытые обособленные поры или на поровые сети, выходящие на поверхность измеряемого объема образца. Поровое пространство построено в виде объемных моделей в формате Д: Ш как 10:1 и полностью по высоте образца через центральную область. Точно по центру образца (и модели пор) сформированы вертикальные срезы (твердая фаза – оттенки серого, поры черные, органические структуры – очень темно-серые)

Проведенные исследования позволили получить данные, характеризующие специфику формирования горизонтов RAT на реплантационных почвах Ростовской агломерации, что делает возможным

проведение оценки динамики депонирования углерода и специфики гумусного состояния почв в полученных хронологических рядах.

Результаты и обсуждение

Морфологические свойства. В ходе полевых изысканий практически на всех МП под рекультивационными и урбиковыми горизонтами была вскрыта погребенная гумусово-аккумулятивная толща некогда нативных черноземов. Мощность горизонтов RAT во всех изученных профилях колеблется в диапазоне от 10 до 34 см, хотя в большинстве случаев она не превышает 10 см. Морфологические описания показали, что зачастую материал для горизонтов RAT, вследствие механического воздействия при скальпировании и перемещении, имеет в избытке порошистые агрегаты, которые наблюдаются в почвах с разным сроком реновации МП6, МП4, МП8, МП9. Тем не менее оценивая форму агрегатов урбостратоземов, можно заключить, что срок реновации не является определяющим для структуры. В целом большинство горизонтов имеет тяжелосуглинистый гранулометрический состав, что характерно и для естественных черноземов региона. В разрезах МП2 и М8 среднесуглинистый гранулометрический состав, что говорит о высоком влиянии антропогенного фактора, так как для нативных почв изучаемой территории характерен тяжелосуглинистый состав. В горизонтах RAT антропогенных включений почти не обнаружено, но они закономерно содержат много корней (следствие дернового процесса разной степени в зависимости от глубины). В то время как в урбиковых горизонтах (UR) наблюдается обилие антропогенных включений, а также камней, гравия и песка.

Содержание углерода. Среднее содержание $C_{\text{орг}}$ для всех изученных конструкторземов составляет $2,52 \pm 0,51$ % ($n=77$), что несколько ниже, чем в черноземах залежных участков Ростовской агломерации, где $C_{\text{орг}}=3,25 \pm 0,94$ % ($n=43$) (Skripnikov et al, 2022). Вне зависимости от возраста горизонтов RAT и интенсивности оказываемой на них антропогенной нагрузки, содержание $C_{\text{орг}}$ в них имеет близкие значения. Пять из семи мониторинговых площадок (МП2, МП4, МП5, МП6 и МП8) не показывают между собой достоверных отличий по этому показателю так же, как и от результата по ФОН1 ($2,87 \pm 0,73$ %). Достоверно большее значение в содержании валового $C_{\text{орг}}$ отмечено в почве площадки МП10 (RAT=13 лет) в парке Осенний – $2,99 \pm 0,31$ % (рис.2). Мероприятия по реновации на данной МП датируются 2019 г., а антропогенная нагрузка характеризовалась как пониженная. Достоверно меньшие значения были зафиксированы в реплантоземе МП 9 (RAT = 5 лет) в сквере Локомотив ($1,83 \pm 0,42$ %). Изученный сквер также был отнесен к категории участков с пониженным антропогенным прессингом, а реновация была проведена в 2018 г. Следовательно в этих случаях имел превалирующее значение фактор первоначального состава реплантанта.

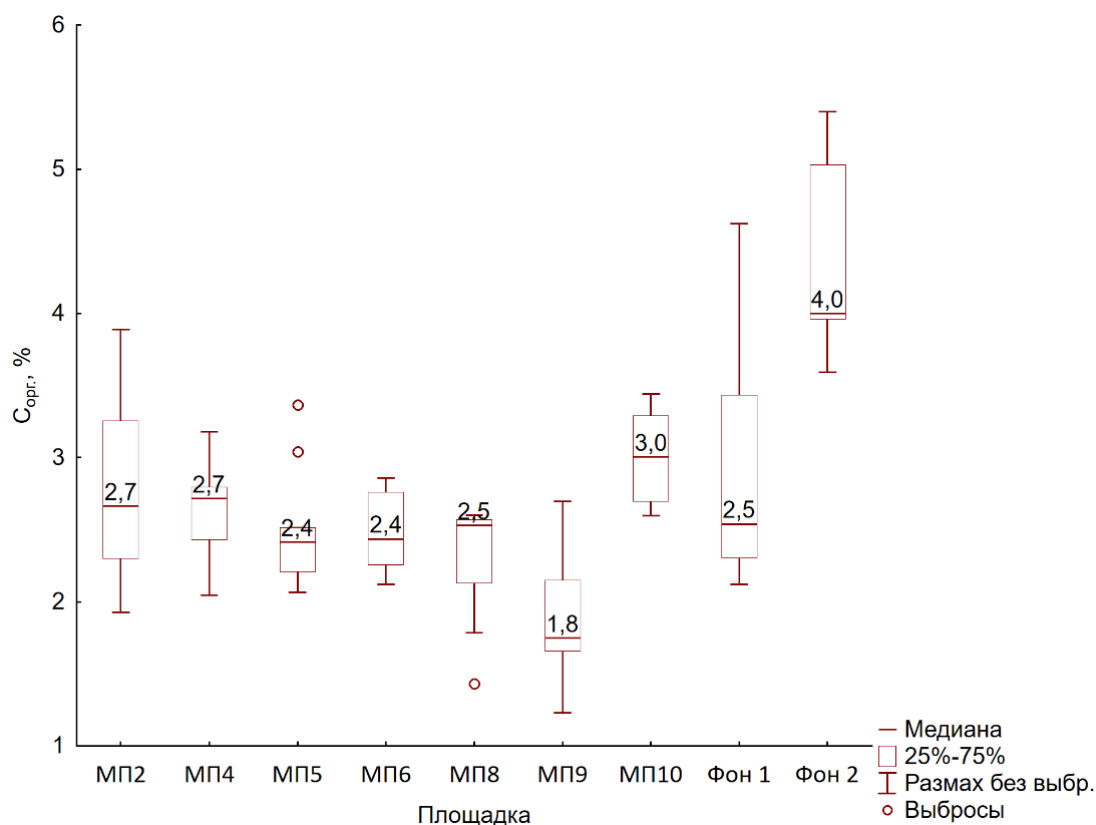


Рис. 2 – Характеристика медианы и межквартильного размаха для содержания $C_{орг.}$ (%) в поверхностном слое 0–10 см для исследуемых мониторинговых площадок

Изучение содержания $C_{орг.}$ в четырёх почвенных конструкциях (К2, К4, К5 и К7) различного состава показало, что за трехлетний период достоверная динамика $C_{орг.}$ отмечена только в конструкции №2, которая состоит из смеси гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема (ГАГ) + песок в равных долях (рис.3). Примечательно, что из-за такого «разбавления» содержание $C_{орг.}$ для К2 примерно в 2 раза ниже, чем в конструкциях, созданных исключительно из ГАГ чернозема. Это говорит о стабильности органического вещества в условиях умеренно континентального климатического пояса, где расположена Ростовская агломерация.

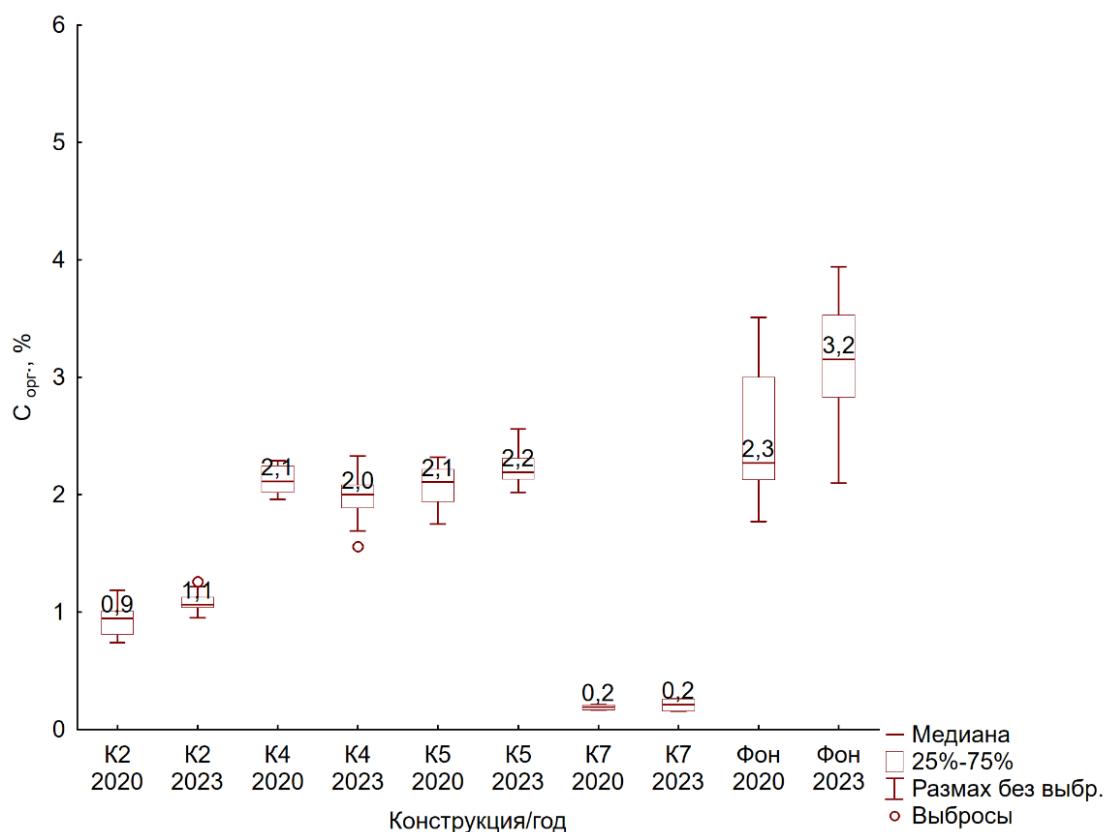


Рис. 3 – Характеристика медианы и межквартильного размаха для содержания $C_{орг.}$ (%) в поверхностном слое 0–10 см для исследуемых почвенных конструкций и фона в 2020 и 2023 году.

Для антропогенно-преобразованных почв с двумя и более горизонтами урбик отмечена явная двучленность почвенного профиля. Приняв точку перехода от антропогенных горизонтов к погребенным нативным горизонтам за нулевую отметку, можно констатировать, что в антропогенной толще наблюдается хаотичное распределение $C_{орг.}$

Нулевая отметка (погребенный горизонт [AU]) является своеобразной границей в профильном распределении органического углерода в урбостратоземах на погребенных черноземах. Здесь наблюдаются пики $C_{орг.}$ относительно вышележащих горизонтов, а далее следует постепенное

уменьшение его содержания вниз по профилю, аналогично функционирующим зональным черноземам (Фон). Иная картина наблюдается в профилях урбистратифицированных черноземов ввиду отсутствия ярко выраженных горизонтов урбик. Переход от горизонта RAT к погребенному гумусово-аккумулятивному горизонту [AU] нивелируется. Гумусово-аккумулятивные горизонты, использованные для реновации (RAT), интегрируются в почвенный профиль, обеспечивая совместное их функционирование, как единого целого.

В реплантированных почвах наблюдается обратная корреляционная взаимосвязь между содержанием $C_{орг.}$ и глубиной залегания. Но если в черноземах Ростовской агломерации коэффициент корреляции с использованием критерия Спирмена составляет $-0,87$ (Скрипников, 2023), то в реплантоземах он ниже ($-0,77$), однако связь сильная, несмотря на двучленность профиля реплантированных почв. Наличие урбиковых горизонтов в профилях конструктороземов обеспечивает высокий коэффициент вариации $= 40\%$ и более низкое значение коэффициента корреляции. В тех случаях, когда горизонты UR подстилают дневные горизонты RAT, наблюдается более резкое снижение содержания органического углерода с глубиной.

Анализ водорастворимого $C_{орг.}$ (мг/л) показывает сильную прямую корреляцию с общим содержанием $C_{орг.}$ ($r = 0,84$). Профильное распределение ВОВ аналогично распределению общего $C_{орг.}$ на фоне сохранения двучленности профиля.

Результаты определения водных вытяжек холодной и горячей экстракции из почв показали, что доля $C_{орг.}$ ВОВ в органическом веществе (ОВ) почв конструктороземов Ростовской агломерации входит в интервал $2,5-5\%$ и

оценивается как «очень высокая» (Орлов и др., 2004). Половина всех значений, полученных суммированием результатов холодной и горячей экстракций ВОВ от общего $C_{орг.}$, находится в диапазоне от 2,63 до 4,31 %. Также необходимо отметить, что данный показатель в поверхностном горизонте РАТ несколько выше ($3,30 \pm 0,74$), чем в погребенном естественном горизонте [AU] ($2,85 \pm 1,11$). Однако, эта разница не достоверна из-за значительного размаха колебаний в содержании $C_{орг.}$ ВОВ.

Динамика эмиссии углерода. Сезонная динамика эмиссии в $г С м^2/сут.$ на отдельных площадках мониторинга отображена на рис. 4. Значения гистограммы соответствуют средним величинам, а пределы погрешностей показывают стандартное отклонение. Для всех МП характерно нарастание эмиссии с апреля по июль включительно, далее следует некоторый спад в сухие и жаркие август-сентябрь. Корреляционный анализ выявил достоверную прямую связь между значениями эмиссии и показателями на глубинах 1 и 10 см почвы, и обратную связь с влажностью (табл.1).

Таблица 1 – Корреляционная матрица эмиссии углерода с температурой на глубинах 1 и 10 см и объемной влажностью в слое 10 см (красным отмечена достоверная взаимосвязь)

Переменные	$г С/ м^2$ сутки	$T_1, ^\circ C$	$T_{10}, ^\circ C$	$W, \%$
$г С/ м^2$ сутки	1,000	0,279	0,365	-0,212
$T_1, ^\circ C$	0,279	1,000	0,898	-0,513
$T_{10}, ^\circ C$	0,365	0,898	1,000	-0,474
$W, \%$	-0,212	-0,513	-0,474	1,000

На рис. 4 наглядно отражены различия в интенсивности эмиссии $С$ почвой на различных МП: среди конструкторземов наибольшие значения

зафиксированы на МП5 (Гольф&Кантри клуб «Дон»), что обусловлено регулярным поливом и уходом за газонным покрытием.

Динамика эмиссии углерода на почвенных конструкциях и фоне в Ботаническом саду показала, что фоновый участок отличается наибольшей вариативностью данных и наибольшей интенсивностью потоков диоксида углерода на протяжении всего периода исследования. Об этом свидетельствуют большой квартильный размах и медианные величины. Временная динамика внутри отдельных вариантов конструктоземов отображена на рис. 5. Для мая и июня характерны максимальные показатели активности эмиссии. Выявлена достоверная корреляция между эмиссией CO₂ и микроклиматическими показателями. Причем вторая и седьмая почвенные конструкции демонстрируют умеренную отрицательную связь как с температурой на глубинах 10 и 1 см, так и с объемной влажностью. Участок сравнения, вероятно в силу большей вариативности не показывает достоверных корреляционных взаимосвязей.

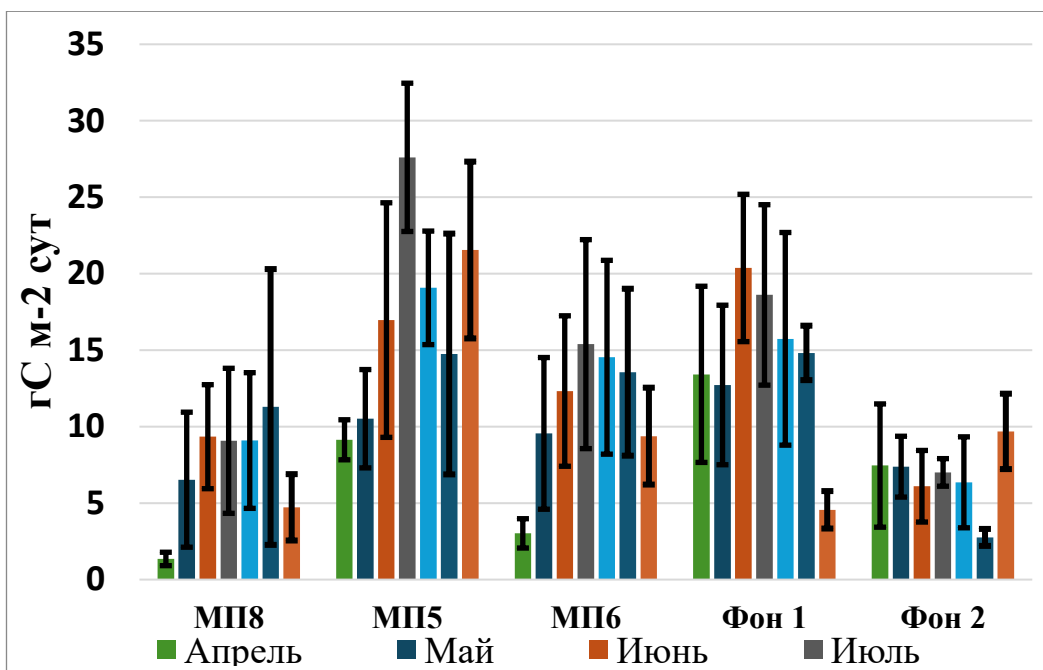


Рис.4 – Средние значения сезонной динамики эмиссии С из почвы на различных точках мониторинга

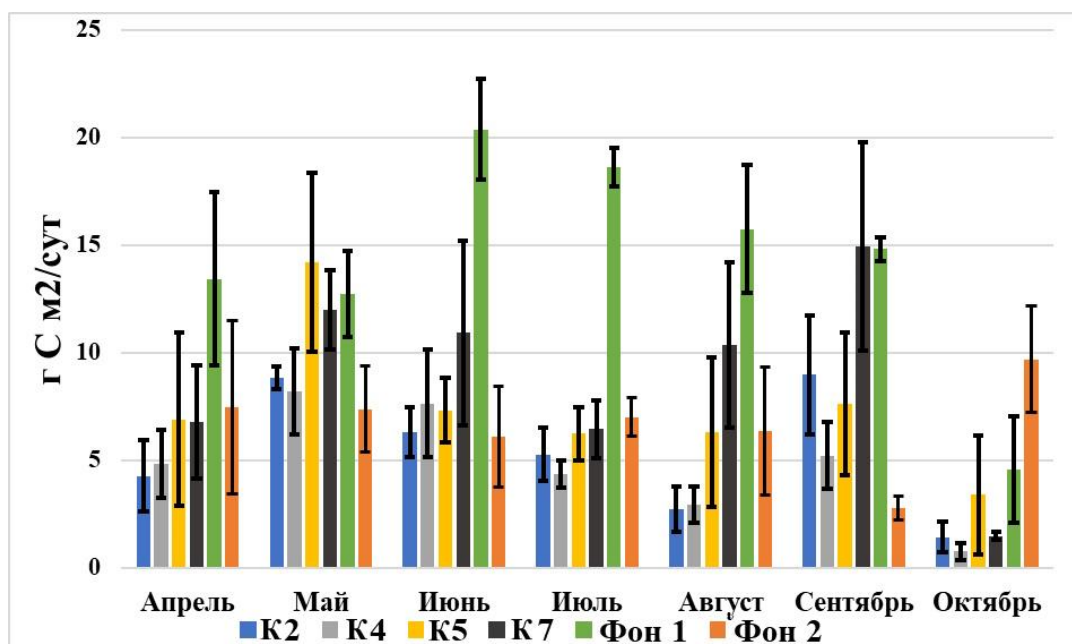


Рис.5 – Средние значения сезонной динамики эмиссии С на различных почвенных конструкциях в Ботаническом саду

Оценка порового пространства и агрегированности.

Реплантированная часть не связана единым поровым пространством с нижележащими горизонтами, поэтому оценка этого показателя для горизонта RАТ имеет диагностическое значение, когда иные свойства варьируют широко, а данные морфологии проблематичны. Однако определение методом томографии общей пористости в различных по составу гор. RАТ на Почвенном стационаре ЮФУ показало, что в фоновом образце этот показатель составляет 44 %, и в конструктороземах он имеет сопоставимые значения для различных по составу конструкций (от 33 до 48 %). А соотношение открытой и закрытой пористости является довольно консервативным показателем для естественных черноземов. Для отобранного на черноземе старозалежном в Ботаническом саду ЮФУ поверхностном гумусово-аккумулятивном горизонте соотношение открытой к закрытой пористости составило 80/1, в то время как конструктороземы показывали существенно более низкий результат: от 33/1 до 48,5/1. При облегчении грансостава (конструкторозем 4) это соотношение резко возрастает и более чем в два раза превышает значения фона. Таким образом отмечается, что в реплантоземах с тяжелым грансоставом, приближенным к естественному, отношение открытых пор к закрытым уменьшается по сравнению с фоном, а при облегчении – увеличивается.

Физические характеристики изученных почв: гранулометрический состав, структурное состояние, плотность сложения. В горизонтах RАТ и АU выявлены две превалирующие гранулометрические фракции – 0,25–0,05 и <0,001 мм (рис. 6).

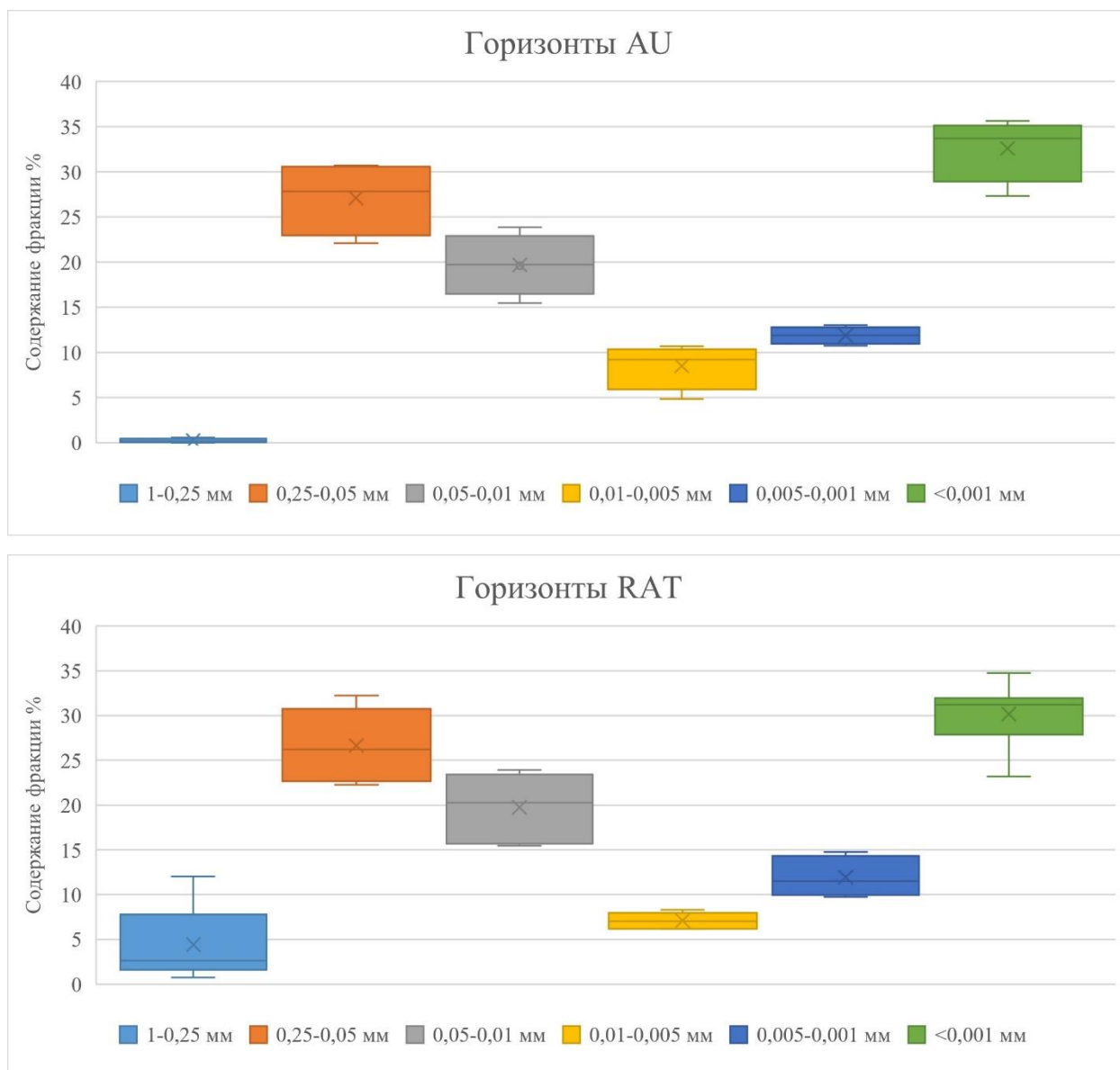


Рис. 6 – Содержание гранулометрических фракций в выборках почвенных горизонтов AU и RAT

Критерий Манна-Уитни показал достоверные различия в сравнении горизонтов RAT и AU только для фракции 1–0,25 мм. При этом достоверных различий в содержании суммарной фракции физического песка не обнаружено.

Можно заключить, что гранулометрический состав горизонтов RAT, в целом наследует свойства горизонтов AU, из которых он создан. Иногда при рекультивации добавляется песок с целью облегчения гранулометрического состава и улучшения водно-воздушных свойств почв путем увеличения открытой пористости. Также возможно непреднамеренное облегчение грансостава в результате антропогенной деятельности в придорожных зонах, которое в почвах Ростова-на-Дону выражено в появлении фракции крупного и среднего песка, не характерной для нативных почв.

Содержание агрегатных фракций в горизонтах RAT и AU представлено на рис. 7.

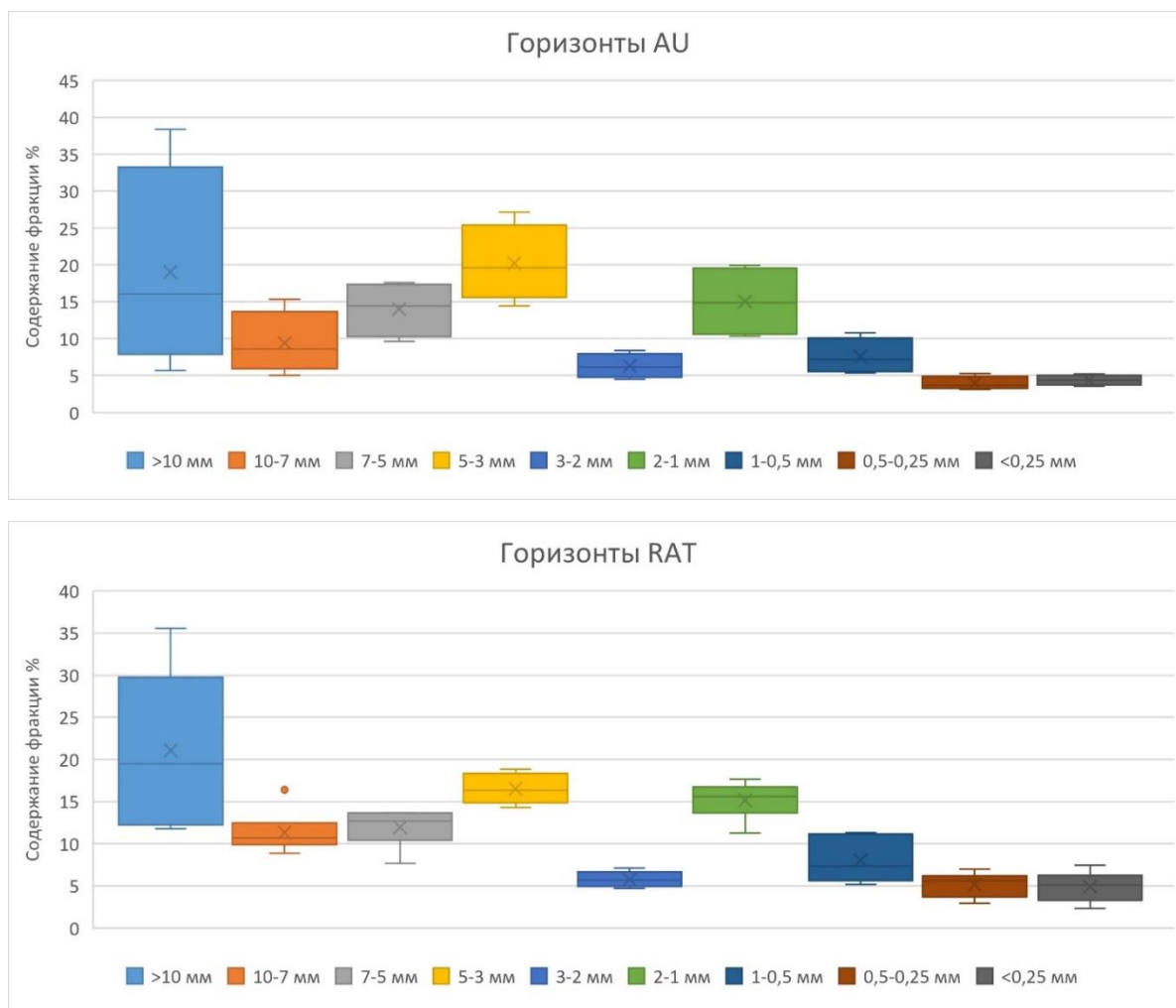


Рис. 7 – Содержание агрегатных фракций в выборках горизонтов AU и RAT

Прослеживаются общие закономерности содержания фракций. Самый большой разброс значений характерен для фракции >10 мм, наиболее стабильны фракции 3–2; 0,5–0,25 и <0,25 мм. Критерий Манна-Уитни между агрегатными фракциями горизонтов AU и RAT не показал достоверных различий. Причем наиболее близки горизонты RAT и AU по содержанию фракций 3–2; 2–1; 1–0,5 мм. Содержание агрономически ценных фракций (7–

0,25 мм) составляет 63,3 % для горизонтов RAT и 65,93 % для горизонтов AU. По медианным значениям структурное состояние оценивается как хорошее.

Плотность сложения в фоновых разрезах постепенно увеличивается с глубиной. В урбостратоземах зачастую прослеживается двучленность профиля и по этому показателю. В фоновых почвах плотность сложения находится в пределах 1,43–0,84 г/см³. Показатели плотности для фоновых участков >1,3 г/см³ наблюдаются на глубинах ниже 50 см, а для реплантационных урбостратоземов такая высокая плотность сложения зачастую наблюдается сразу под реплантационным слоем. Также в разрезе МП8 обнаружен на глубине 60–85 см горизонт UR3, плотность сложения которого составила 1,91 г/см³. Этот феномен подлежит дальнейшему изучению, так как его причины неясны, в то же время наличие такого водоупора чревато неблагоприятными последствиями для роста растений и рисками эрозии вышележащих слоев.

Заключение. В условиях Ростовской агломерации реплантоземы – рекультиванты, образованные путем преимущественного одномоментного нанесения плодородного или потенциально плодородного слоя почвы на почвенную основу, представляющую собой деградированную, чаще всего за счет скальпирования (снятия) верхнего слоя, почву. Мощность привнесенного слоя варьирует от 10 до 34 см, причем под слоем реплантанта зачастую содержатся погребенные гумусовые слои, унаследованные от нативных черноземов. Среднее содержание органического углерода (С орг.) в исследуемых почвах составляет 2,52±0,51%, что меньше, чем в черноземах залежных участков (3,25±0,94 %). Наибольшее содержание С орг. зафиксировано в почве парка Осенний (2,99±0,31 %), наименьшее – в сквере Локомотив (1,83±0,42 %). Общая пористость горизонтов RAT составляет 33–

48 %, что близко к показателям природных черноземов (44 %).

Гранулометрический состав горизонтов RAT преимущественно тяжелосуглинистый и схож с таковым в естественных черноземах обыкновенных карбонатных, преобладают фракции 0,25–0,05 и <0,001 мм. Редко, но встречаются и реплантоземы облегченного гранулометрического состава. Плотность сложения в реплантированных почвах нередко высока уже под репланируемым слоем, что может негативно сказаться на росте растений и эрозионных процессах.

Эмиссия углерода изучалась в конструкторных Почвенного стационара Ботанического сада ЮФУ. Конструкторные в отличие от реплантоземов, полностью сконструированные почвоподобные образования с заданными свойствами, для них характерна сложность конструкции, с контролируемыми свойствами. Эмиссия углерода в таких почвах растет с апреля по июль, затем в августе-сентябре снижается. Выявлена достоверная корреляция между эмиссией CO₂ и такими микроклиматическими показателями, как температура почвы на глубинах 1 и 10 см, и влажность почвы в поверхностном десятисантиметровом слое. Почвенные конструкции, сформированные на основе смесей 1:1 песка, как с гумусовым горизонтом чернозема, так и лессовидным суглинком, демонстрируют умеренную отрицательную связь с температурой почвы и с влажностью. Наибольшая интенсивность эмиссии зафиксирована на площадке Гольф&Кантри клуба "Дон", что обусловлено регулярным уходом и поливом.

Исследование выполнено на базе Южного федерального университета за счет гранта Российского научного фонда № 23–27–00418, <https://rscf.ru/project/23-27-00418/>

Список литературы

Карелин Д. В., Замолодчиков Д. Г., Краев Г. Н. Методическое руководство по анализу эмиссий углерода из почв поселений в тундре. М.: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2015. – 64 с.

Классификация и диагностика почв России / авторы и сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

Крупеников И. А., Подымов Б. П. Классификация и систематический список почв Молдавии / отв. ред. А. Ф. Урсу. Кишинев: Штиинца, 1987. – 157 с.

Мировая реферативная база почвенных ресурсов. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и составления легенд почвенных карт / Научные ред. перевода М. И. Герасимова, П. В. Красильников. М.: МАКС. Пресс, 2024. – 248 с.

Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Розанова М. С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов// Почвоведение, 2004. № 8. С. – 918–926.

Полевой определитель почв. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2008. – 182 с.

Прокофьева Т. В., Мартыненко И. А., Иванников Ф. А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение, 2011. № 5. – С. 611–623.

Прокофьева Т. В., Герасимова М. И., Безуглова О. С., Бахматова К. А., Гольева А. А., Горбов С. Н., Жарикова Е. А., Матинян Н. Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н. Е. Введение почв и почвоподобных образований городских

территорий в классификацию почв России // Почвоведение, 2014, № 10. – С. 1155–1164. DOI: 10.7868/s0032180x14100104

Скрипников П. Н., Горбов С. Н., Матецкая А. Ю., Тагивердиев С. С., Сальник Н. В. Особенности накопления и профильного распределения различных форм углерода в почвах парково-рекреационной зоны Ростовской агломерации // Наука Юга России, 2023. Т. 19, № 4. – С. 52–66. DOI: 10.7868/S25000640230405

Skrpnikov P. N., Bezuglova, O. S., Gorbov, S. N., Tagiverdiev, S. S. Organic matter content and humus reserves in natural soils of Rostov agglomeration // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2022. V. 1, №. 4. – P. 185–199. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-185-199>

References

Karelin D. V., Zamolodchikov D. G., Kraev G. N. Methodological Guide for the Analysis of Carbon Emissions from Soils of Settlements in the Tundra. Moscow: Center for Forest Ecology and Productivity, Russian Academy of Sciences, 2015. – 64 p.

Classification and Diagnostics of Soils in Russia / authors and compilers L. L. Shishov, V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedeva, M. I. Gerasimova. Smolensk: Oikumena, 2004. – 342 p.

Krupenikov I. A., Podymov B. P. Classification and Taxonomic List of Soils in Moldova / ed. A.F. Ursu. Chisinau: Shtiintsa, 1987. – 157 p.

World Abstract Database of Soil Resources. International Soil Classification System for Soil Diagnostics and Compilation of Soil Map Legends / Scientific ed.

translation by M. I. Gerasimov, P. V. Krasilnikov. Moscow: MAKS.Press, 2024. – 248 p.

Orlov D. S., Biryukova O. N., Rozanova M. S. Additional indicators of the humus state of soils and their genetic horizons // Soil Science, 2004. No. 8. Pp. – 918–926.

Field soil guide. Moscow: V. V. Dokuchaev Soil Institute, 2008. – 182 p.

Prokofieva T. V., Martynenko I. A., Ivannikov F. A. Systematics of soils and parent rocks of Moscow and the possibility of their inclusion in the general classification // Soil Science, 2011. No. 5. – Pp. 611–623.

Prokofieva T. V., Gerasimova M. I., Bezuglova O. S., Bakhmatova K. A., Golyeva A. A., Gorbov S. N., Zharikova E. A., Matinyan N. N., Nakvasina E. N., Sivtseva N. E. Introduction of soils and soil-like formations of urban areas into the soil classification of Russia // Soil Science, 2014, no. 10. – pp. 1155–1164. DOI: 10.7868/s0032180x14100104

Skripnikov P. N., Gorbov S. N., Matetskaya A. Yu., Tagiverdiev S. S., Salnik N. V. Features of accumulation and profile distribution of various forms of carbon in soils of the park and recreation zone of the Rostov agglomeration // Science of the South of Russia, 2023. Vol. 19, No. 4. – P. 52–66. DOI: 10.7868/S25000640230405

Skripnikov P. N., Bezuglova, O. S., Gorbov, S. N., Tagiverdiev, S. S. Organic matter content and humus reserves in natural soils of Rostov agglomeration // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2022. V. 1, No. 4. – P. 185–199. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-185-199>

Статья поступила в редакцию 21 августа 2024 г.

Поступила после доработки 23 августа 2024 г.

Принята к печати 5 сентября 2024 г.

Received 21, August, 2024

Revised 23, August, 2024

Accepted 5, September, 2024