

Отзыв

на автореферат докторской диссертации В.И. Васенева «ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ГОРОДОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ»

Правительством России в рамках международной «зеленой повестки» поставлена задача количественной оценки динамики содержания углерода в почвах и консорциумах произрастающих на них растений, что требует объединенных усилий специалистов в области биологии, экологии и дисциплин, использующих аппарат моделирования (прикладная математика). В природных экосистемах и, частично, в агроландшафтах круговорот углерода и контролирующие его факторы исследованы достаточно полно, тогда как для урбоэкосистем подобная задача во всей полноте и масштабности ставится, по-видимому, впервые. Известно, что муниципалитеты крупных городов, в частности, Москвы осуществляют масштабные проекты озеленения, создавая городские парки-скверы-газоны с интродукцией различной орнаментальной растительности на сильно измененных или вновь создаваемых почвах (урбаноземах, конструктоземах), которые в значительной степени модифицируются путем импорта обогащенных углеродом материалов (торфяных добавок, мульчи, дерна, чернозема и т.д.). Влияние таких интрузий на функционирование и устойчивость самой почвы, как биосистемы, и выращиваемой на ней растительности требует глубокого научного анализа с получением обширного экспериментального материала, использования процессного моделирования с главной задачей разработки научно-обоснованных рекомендаций по оптимальным для городской зеленой инфраструктуры типам конструктоземов и устойчивых зеленых насаждений. Диссертант, прекрасно ориентируясь в практике современного городского озеленения, в своей диссертации попытался совместить многочисленные аспекты этой задачи от планировки комфортной и эстетичной зеленой инфраструктуры до не менее важных вопросов ее устойчивого функционирования при снижении эмиссионных выбросов углерода и неэффективных (а в условиях капиталистической коррупции неоправданно больших) финансовых затрат на ее создание и поддержание. В этой связи отмечу, по-видимому, один из наиболее важных выводов работы для стратегии масштабного городского озеленения, это вывод по неэффективности излюбленных муниципальными службами технологий быстрого формирования и постоянного «ремонта» зеленых газонов на обогащенных углеродом преимущественно торфяных субстратах, являющихся, как показала диссертация, источником, а не стоком углерода. Уничтожение скверов с многолетними древесными насаждениями на минеральных почвах под точечную застройку с последующим «компенсационным озеленением» в виде газонов и цветников с торфяными субстратами резко нарушает углеродный баланс городской зеленой инфраструктуры в сторону дополнительной к мощным техногенным выбросам эмиссии углерода в атмосферу.

Не менее актуальны с практической точки зрения исследования диссертанта по неорганическому углероду городских почв. Отмечу лишь один из таких результатов В.И. Васенева по запечатанным почвам (экраноземам) в контексте актуальной гидрологической проблемы аридных мегаполисов (С.19 автореферата): «*Максимальные запасы С_{карб} показаны для аридного климата, причем их доля в общем запасе углерода слоя 0-100 см в фоновых почвах была в 4 раза выше, чем в соответствующих городских почвах (рис. 2)... В слоях запечатанных*

почв глубже 50 см запасы $C_{орг}$ были лишь на 10% ниже, а $C_{карб}$ – в два раза выше, чем в почвах под газонами. Вероятно, запасы $C_{карб}$ в запечатанных почвах могут иметь как техногенное, так и педогенное происхождение, связанное с растворением избытков CO_2 при ограниченном газообмене в системе «почва-атмосфера».) В таких мегаполисах, как Дубай, Абу-Даби, Мускат, Кувейт, Доха, Рияд в последние годы тревожной технической проблемой стало подтопление подземных городских инфраструктур (подвалы, кабели, подземные трубы и пр.), которое при анализе эволюции почвенных горизонтов (именно тех, по которым В.И. Васенев собирал данные в России) «открыло» формирование слоев «hard pan», в частности, caliche в исходно (до урбанизации) вадозной зоне, богатой карбонатными минералами. Образующаяся на подложке таких «новых hard pans», не наблюдавшихся 30-50 лет назад, perched aquifers (городская «верховодка») индуцируется и тем, что испарение с площадей экраноземов городов заблокировано. Следовательно, грунтовая вода и вода зоны аэрации с высоким содержанием HCO_3^- «вынуждена» испаряться с открытых участков почвы города, т.е. с парков, скверов, газонов. Очевидно, оценки В.И. Васенева «в 4 раза»- «в 2 раза» являются мажорантой-минорантой для всей площади города, но они точно характеризуют по сути универсальный для урболандшафтов с экраноземами механизм аккумуляции карбонатов и гидрокарбонатов педогенного происхождения и серьезную для гидрологии мегаполисов опасность расширения запечатанных территорий.

От примеров актуальности и практической значимости работы перейду к ее фундаментальному методологическому значению, как одного из немногих количественных исследований по структурно-функциональной организации урбоэкосистем. Математическая формулировка поставленной в работе задачи количественного описания состояния и динамики углерода городских почв сложна и многопланова, и в общих чертах сводится к следующему. Диссертант, на основе эмпирических (первичных и вторичных) данных, а также путем моделирования решил задачи определения функций:

$$C_i(x, y, z, X, Y, t, T), \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \quad (1)$$

где C_i – концентрация различных видов (твердого или газообразного) углерода в почве (e.g. неорганический, органический полный или парциальный, т.е. генерируемый микробами, возникающий в результате разложения опада или дыхания корней растений, определяемый «фоном», т.е. концентрациями до урбанизации, или «антропогенный», например, за счет захоронения цементной крошки старинных разрушенных сооружений, и пр.); (t, T)= диада «быстрого» и «медленного» времени, как независимых переменных в терминологии теории осреднения для динамических систем Андронова и др. (1959)¹, например, (дни, десятилетия), соответственно; (x, y) и (X, Y) = пространственные горизонтальные координаты мелкого и крупного масштаба, от метров для, скажем, площадки газона до десятков километров для всего мегаполиса (или даже губерний), соответственно; z =вертикальная координата, $\approx -5 \text{ m} < z < 0$, определяемая ограничением инструментария исследования, т.е. глубина почвенного слоя (горизонта), с которого могут производиться точечные измерения в шурфе-педоне-городском котловане. Очевидно, все независимые и зависимые переменные в (1) континуальны, тогда как практически почвоведам-экологам приходиться работать с массивами дискретных величин,

¹ Андронов, А.А., Витт, А.А., Хайкин, С.Э., 1959. Теория колебаний. Физматгиз, Москва.

которые моделированием (интерполяциями и регрессиями) аппроксимируют искомые функции C_i . На основе функции (1) диссертант определяет функции

$$\nabla C_i \text{ and } \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (2)$$

т.е. градиенты и временные производные указанных концентраций. Также, из (1) диссертант находит различные интегральные характеристики, например:

$$S_i(X, Y, t, T) = \iiint_V C_i(x, y, z, X, Y, t, T) dx dy dz \quad (3)$$

где S_i = масса того или иного вида углерода в выбранном объеме V , скажем, в почвенном слое глубиной до 1 м в некоем городском сквере с фиксированной площадью. Очевидно, методами пространственной кластеризации, для функций S_i в (3) можно также проводить интегрирования по (X, Y) , а также вычислять градиенты и временные производные S_i . Интегрирование по переменным (t, T) в (3) даст совсем простые осредненные характеристики (по координатам и выбранному интервалу времени, например, за пятилетие), *viz.* величину «средних запасов углерода» на макромасштабе, на основе чего диссертант строит углеродные (и иные) карты городских территорий.

Какая физика и биология определяют C_i в (1)? Диссертант правильно, путем факторного анализа, вычленяет другие функции, влияющие на концентрацию углерода в почве, т.е.:

А) Стандартные климатические переменные, замеряемые обычными метеостанциями при фиксированных (x, y, t) : температура воздуха на высоте 2 м (в градусах Цельсия); поток солнечной радиации на поверхность почвы (в ваттах/м²; относительная влажность воздуха (в %); атмосферное давление (в паскалях); скорость ветра (в м/сек); скорость поступления осадков на поверхность почвы (в мм/час), из которых вычисляется ET_0 , например, по Пенману-Монтею, и далее транспирация конкретным видом растительности ET_c , которая сопоставляется с измеренным током пасоки (с помощью sap flow meters или tree talkers, использованных диссертантом).

Б) Нетрадиционные метеоклиматические переменные, известные (замеряемые) лишь в отдельных, лишь соответственно оборудованных, локациях (x, y, t) : концентрация CO₂ в атмосфере над почвой; концентрации других атмосферных газов, влияющих на биоту городских зеленых зон.

В) Физические характеристики городского почвенного профиля, *viz.* пористость, проницаемость насыщенная, текстура (распределение по размерам частиц)-структура (естественная и «сконструированная» почвенным инженером) почвы, минеральный состав зерен, вязкость-плотность почвенной воды, плотность почвенной матрицы, функции проницаемости по двум фазам (вода-почвенный воздух), water retention curve (ОГХ) для каждого слоя (компоненты) почвенного профиля, трещиноватость (двойная пористость-проницаемость) отдельных горизонтов, УГВ ближайшего к поверхности почвы водоносного пласта, among others. Очевидно, все эти переменные также континуальны и зависят от (x, y, z, X, Y, t, T) .

Г) Биологические характеристики почвы, такие как количество и тип корней растений, их перехват воды и солей из прикорневого слоя, микробное сообщество ризосфера, популяция прикорневых червей и других городских насекомых, и пр. – все в зависимости от (x, y, z, X, Y, t, T) .

Д) Антропогенные драйверы городской среды, z.B. внесение в исходно «фоновую» почву города чуждых солей, включая токсичные для биоты, городской пыли, удобрений; тепловая перегрузка за счет перегрева городской атмосферы и пр. - все в зависимости от (x, y, z, X, Y, t, T) .

Все функции в А)-Д) требуют замеров и наблюдений, как собственно физических-биологических параметров, так и их градиентов и производных по времени, поскольку эти

параметры-градиенты-скорости изменений взаимосвязаны с искомыми функциями C_i и их градиентами и скоростями изменений, причем многие взаимосвязи нелинейны, сложны или даже непонятны, а данные замеров дороги и содержат неискоренимые неопределенности. Таким образом, диссертант имел перед собой математически сложную систему дифференциально-интегральных уравнений, гораздо более сложную, чем те чисто физические и технические системы, которые моделировали Андронов и др. (1959). А именно, системы В.И. Васенева включают нечетко-стохастические коэффициенты (fuzzy-stochastic coefficients) и неопределенности начальных и граничных условий моделируемой урбокосистемы со множественными углеродными пулами и потоками. В целом подобные математические задачи относятся к классу некорректных, а их решение крайне затруднительно и требует многочисленной дополнительной информации по системе с соответствующими ограничениями выбора. Тем не менее, В.И. Васенев успешно справляется с этой методологической задачей, умело следя ленинскому принципу «выделения главного звена цепи», т.е. осмыслиения и определения главного (главных) факторов, влияющих на искомые C_i . При этом диссертант не просто описывает где и сколько углерода содержится-движется в почвенном профиле, но и рекомендует, как оптимизировать банк углерода и его потоки в системе почвенная матрица-растение-почвенный раствор-атмосфера, используя интеллектуальное почвенное конструирование на локальном уровне (элементы зеленой инфраструктуры) и масштабные структурно-технологические ограничения на уровне функциональных зон, отдельных районов и мегаполиса в целом, в первую очередь по допустимым технологиям озеленения, площадям зеленых насаждений и доли запечатанного пространства. В завершающей части работы диссертанта, на базе масштабного моделирования системы с наиболее вероятными климатическими сценариями дается прогноз динамики углеродного пула и эмиссий на примере г. Москвы, крайне актуальный для стратегии ее развития в рамках доктрины о «глобальной зеленой повестке».

Замечания

Мои мелкие стилистические замечания по тексту автореферата таковы:

- С.6: «Для городов Европейской территории России» -> Для **нескольких** городов Европейской территории России»;
- С.7: «антропогенно-инициированную акселерацию динамики его запасов»->
«антропогенно-инициированное ускорение динамики его запасов»;
- С.18: «Логика работы последовательно рассматривает...»-> «**По логике работы, последовательно рассматривается...**»;
- С.22: «...процесс создания почвенных конструкций остается недостаточно регламентированным, а рынок почвогрунтов — непрозрачным...». Непонятно, что означает «непрозрачность рынка».
- С.42: «...снижают потери углерода» -> «снижают потери углерода и, соответственно, улучшают показатели его секвестрирования и долгосрочного депонирования в урбанизмах.»

В качестве философских замечаний, скорее даже не к диссертанту, а к сообществу московских почвоведов-экологов-биологов в целом, выскажу следующее:

- 1) В своем обзоре научной литературы, В.И. Васенев дает полную картину по теме диссертации, со ссылками на важнейшие современные монографии и статьи (в основном

англоязычные) в ведущих журналах по почвоведению и почвенной экологии и метрологии. Можно было бы дополнить обзор, добавив не англоязычные монографии, например,

Endlicher, W., 2012. Einführung in die Stadtökologie: Grundzüge des urbanen Mensch-Umwelt-Systems. UTB Taschenbücher, Verlag Ulmer, Stuttgart.

и

Di Pietro, F. and Robert, A. (Editors), 2021. Urban wastelands. A form of urban nature? Springer, Cham.

2) Структура списка работ в диссертации и автореферате мне непонятны. В частности, я не нашел в автореферате рейтинговую книгу, в которой В.И. Васенев был редактором и опубликовал две главы: Rakshit, A., Ghosh, S., **Vasenev, V.**, Pathak, H. and Rajput, V.D. (Editors), 2022. Soils in Urban Ecosystem. Springer, Singapore. Крайне редко мне попадались диссертации, в которых автор опускал бы свои достойные книги-статьи, которые, на мой взгляд, должны быть приведены хотя бы в общем списке опубликованных работ любого докторанта. Также я проследил временной ряд публикаций В.И. Васенева по автореферату. В целом, все отлично: докторант не просто публикуется в лучших международных и отечественных журналах, но и демонстрирует похвальное хронологическое постоянство. Однако, я нашел лакуну: докторантом ничего не опубликовано (согласно автореферату) в 2016 году. Между тем, простейшая проверка показывает следующие публикации за этот год:

Rogovaya, S.V., Ivashchenko, K.V., **Vasenev, V.I.**, Sarzhanov, D.A., Ryzhkov, O.V. and Kudeyarov, V.N., 2016. Carbon dioxide emission and soil microbial respiration activity of Chernozems under anthropogenic transformation of terrestrial ecosystems. Eurasian J. of Soil Science, 5(2), 146-154.

Vasenev, V.I., Stoorvogel, J.J., Plyushchikov, V.G., Ananyeva, N.D., Ivashchenko, K.V. and Romzaykina, O.N., 2016. Basal respiration as a proxy to understand spatial trends in CO₂ emissions in the Moscow region. Вестник Российской университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство, 4, 94-107.

Sushko, S.V., Anan'eva, N.D., Ivashchenko, K.V., **Vasenev, V.I.** and Sarzhanov, D.A., 2016. Soil microbial respiration in field and laboratory conditions. Agrofizika, 4, 17-23.

Ivashchenko, K., Ananyeva, N., Rogovaya, S. and **Vasenev, V.**, 2016. Soil microbial respiration (CO₂) of natural and anthropogenically-transformed ecosystems in Moscow region, Russia. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EPSC2016-663).

Vasenev, V., Stoorvogel, J., Leemans, R. and Valentini, R., 2016. Urbanization has a positive net effect on soil carbon stocks: modelling outcomes for the Moscow region. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EPSC2016-59).

Bhavish, R.B., **Vasenev, V.I.** and Hajiaghayeva, R.A., 2016. Analysis of carbon dioxide emission from lawn ecosystem with contrasting soil profiles. Вестник Российской университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство, 4, 10-17.

Yang, J., Yu, Y., Chen, Y., Wang, X. and **Vasenev, V.I.**, 2016. Content and distribution of organic carbon in urban forest soil in different function areas in Nanjing City, China. J. of Nanjing Forestry University, 40(1), 22-26.

Вышеперечисленные работы принадлежат докторанту, поэтому они должны быть указаны им, даже если он считает, что эти работы лишь тангенциально относятся к теме диссертации. Надеюсь, что первый ВУЗ России не должен страдать синдромом безродного космополитизма и низкозападопоклонства, охватившим отечественную науку, вместе с навязанными ей научометрическими критериями качества публикаций типа SJR индекса (Scopus-Elsevier) вместо собственных изданий, тем более неуместными в условиях сегодняшней изоляции и санкций. Подобное навязывание этого индекса, равно как и Н-индекса и прочих библиометрических дескрипторов, просто бессмысленно в научных работах (автореферат есть

научная работа). Кстати, тезисы В.И. Васенева в приведенном выше списке – рецензируемые работы, доложенные на престижной конференции EGU.

3) В диссертации и автореферате нет четкого списка грантов и хоздоговоров, которые поддерживали диссертанта в его работе. Хотя анализ публикаций диссертанта указывает на многочисленные ссылки крупных и престижных международных проектов, грантов и мегагрантов РНФ, РФФИ, что, на мой взгляд, показывает постоянную востребованность как наукой, так и обществом, исследований по теме диссертации, проводимых В.И. Васеневым и его группой. Замечу, что международная лаборатория SUN (Smart, Urban, Nature) в РУДН (<https://sunlab.rudn.ru/>), объединившая под соруководством профессора Риккардо Валентини и доцента В.И. Васенева молодежный коллектив из наиболее талантливых выпускников РУДН, МГУ им. М.В. Ломоносова и других вузов РФ, реализовала и продолжает в настоящее время успешно выполнять крупные проекты международного уровня, а ее современное техническое оснащение во многом сформировалось благодаря мегагрантам Минобрнауки РФ и РНФ. Эти достижения диссертанта, как успешного научного организатора и вдохновителя, подчеркивают, на мой взгляд, масштабность, значимость и востребованность проводимых им исследований.

Заключение

Приведенные выше замечания и предложения нисколько не умаляют мою высокую оценку его диссертации. Это исследование крайне актуально. Положения вынесенные на защиту обоснованы. Сделанные диссертантом научные выводы и рекомендации достоверны и новы. В целом, материал диссертации Васенева послужит отличной базой для дальнейшего моделирования специалистами в области прикладной математики (теории динамических систем) с последующей верификацией и валидацией математических симуляций при отличных перспективах мультидисциплинарного сотрудничества с почвоведами и экологами.

Рецензируемая работа Васенев, по моему мнению, полностью отвечает требованиям, установленным МГУ к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора наук по специальностям «Почвоведение» (по биологическим наукам) и «Экология» (по биологическим наукам). Следовательно, соискатель Васенев Вячеслав Иванович заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора наук.

Professor Anvar Kacimov

Department of Soils, Water and Agricultural Engineering,

College of Agricultural and Marine Sciences,

Sultan Qaboos University Al-Khod 123, PO Box 34 Sultanate of Oman

Tel. (968) 24141227 Fax (968) 24413-418

Emails:

anvar@squ.edu.om

akacimov@gmail.com

Webpages:

<https://www.squ.edu.om/agriculture/Academic-Department/Soils-Water-and-Agricultural-Engineering>

<https://www.squ.edu.om/agriculture/Academic-Department/Soils-Water-and-Agricultural-Engineering/Faculty>