

**Андрей Степанович Домас¹, Наталья Валерьевна Шкуратова²,
Егор Викторович Чипурных³**

¹канд. с.-х. наук, доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

³студент 3-го курса факультета естествознания
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Andrei Domas¹, Natalia Shkuratova², Egor Chipurnykh³

¹Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

²Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

³3-th Year Student of the Faculty of Natural Sciences of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: ¹domasandrei@gmail.com; ²schkuratova_n@tut.by; ³chi-riki@yandex.by

О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ГУМУСА И ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ СПОСОБНОСТЬЮ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ*

Рассмотрена сопряженность показателей гумусового состояния некоторых урбанизированных территорий юго-западной части Беларуси с их целлюлозолитической способностью. Показано, что связь между показателями носит преимущественно нелинейный характер и зависит от вида урбанизированной территории. Наиболее тесные взаимосвязи выявлены в почвах рекреационных территорий. В условиях более мощного техногенного и антропогенного воздействия теснота связей между признаками ослабевает.

Ключевые слова: гумус, почвы, урбанизированные территории, гуминовые кислоты, фульвокислоты, качество гумуса, разложение целлюлозы, биологическая активность почв, урбоэкология.

On the Relationship between Humus Indices and Cellulolytic Capacity of Some Soils of Urbanized Territories

The correlation of indicators of the humus state of some urbanized territories of the southwestern part of Belarus with their cellulolytic capacity is considered. It is shown that the relationship between the indicators is mainly nonlinear and depends on the type of urbanized area. The closest relationships have been identified in the soils of recreational areas. In conditions of more powerful man-made and anthropogenic impacts, the closeness of the links between the signs weakens.

Key words: humus, soils, urbanized territories, humic acids, fulvic acids, humus quality, cellulose decomposition, biological activity of soils, urban ecology.

Введение

Под влиянием урбанизации происходит значительная трансформация природных экосистем. Подвергаются изменению и почвы урбанизированных территорий, что влечет нарушение естественного почвообразовательного процесса [1]. Замещение естественных фитоценозов на искусственные, как правило монодоминантные, особенно на придорожных территориях, а также регулярное изъятие древесного опада и скошенной травы, обусловленное правилами содержания озелененных территорий [2], приводит к нарушению биогеохимического цикла питательных элементов.

**Работа выполнена в рамках НИР «Оценка гумусового состояния и биологической активности почв урбанизированных территорий с различной техногенной нагрузкой» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (номер госрегистрации 20211453 от 20.05.2021).*

Особенностью почв урбанизированных территорий также является то, что верхняя, наиболее гумусированная, часть почвенного профиля почв урбанизированных территорий часто имеет искусственное происхождение, что особенно характерно для районов новой застройки, а также для реконструированных объектов. Основой для вновь создаваемой верхней части почвенного профиля часто служат органические материалы, сформировавшиеся в экологических условиях, резко отличающихся от условий городской среды, что находит отражение как в гумусированности почв данных территорий, так и их биологической активности. Снижение же объема биомассы, поступающей на поверхность почв урбанизированных территорий, может приводить не только к снижению гумусированности почв, механизмов и скоростей трансформации растительных остатков в почвах [1], но и к деградации почвенных микробоценозов, в том числе и отвечающих за разложение органических веществ [3]. В работах А. Е. Ивановой [4] показано, что пул целлюлозолитических микроорганизмов, в том числе грибов, в урбаноземе находится в неактивном состоянии, тогда как увеличение опада приводит к увеличению биологической активности почв, но только на период разложения растительных остатков.

Также в ряде работ различных авторов указывается, что гумусовые вещества могут выступать как «депо» питательных веществ для почвенной микрофлоры. Соприженность активности почвенного целлюлозолитического комплекса с обеспеченностью почв гумусом часто упоминается в литературе, однако конкретные модели данного взаимодействия если и рассматриваются, то лишь в почвах сельскохозяйственного назначения, как, например, в работе В. В. Козловой [5]. Вопрос же сохранения связи гумусированности почв с их целлюлозолитической способностью в условиях урбанизированных территорий в литературе и вовсе не рассмотрен.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования выступили почвы урбанизированных территорий юго-западной части Беларуси с различным техногенным воздействием. Отбор почвенных образцов осуществлялся в период весна – осень 2021–2023 гг. Нами было проанализировано 46 смешанных почвенных образца, относящихся к придорожным территориям, – 22 образца, территориям, прилегающим к железнодорожному полотну (ЖД), – четыре образца, рекреационным территориям (парки, лесной массив, дворовые территории) – 10 образцов, территориям техногенных объектов (производственные предприятия, АЗС, котельная, автомойки) – 9 образцов, агрозем культурный (огородная почва), выступающая в качестве контроля – одна образец. Поскольку почвенные образцы отбирались в разное время, то для достижения равных показателей при определении целлюлозолитической способности почв они предварительно выдерживались в течение 30 дней в лабораторных условиях при постоянном достаточном поливе.

Метод эксперимента – аппликационный с использованием льняных пластинок [6]. Образцы почв урбанизированных территорий помещали в балконные цветочные горшки 60 × 15 × 20 см. Подготовленную льняную пластинку помещали вертикально в почвенный образец и плотно прижимали полотно, придавливая почвой, место разреза засыпали, так, чтобы льняная пластинка была полностью покрыта почвой. Время аппликации составило 30 дней. По убыли в весе судили об интенсивности процесса разрушения целлюлозы. В качестве контроля использовали скорость разложения льняной пластинки в почве агрозема культурного.

Ввиду большого объема материала определение целлюлозолитической способности исследуемых почв проводили поэтапно. В связи с этим прямое сравнение результатов, полученных на каждом из этапов работы, было бы нецелесообразно

[illegible]

Следует отметить, что снижение способности почв разлагать целлюлозу обычно проявляется в почвах с более высокой кислотностью, что, вероятнее всего, и приводит к угнетению данной способности почв. Также прослеживается тенденция на снижение интенсивности разложения органических веществ при повышении доли экстрагируемых фракций гумуса.

Применение регрессионного анализа выявило множественные нелинейные связи между фракционно-групповым составом гумуса и интенсивностью разложения целлюлозы. За приемлемые модели мы принимали модели с коэффициентом детерминации более 0,5.

Так, наиболее тесная связь выявлена между ЦЛС и содержанием фракции ГК-1, и графически она имела вид параболы (рисунок 1).

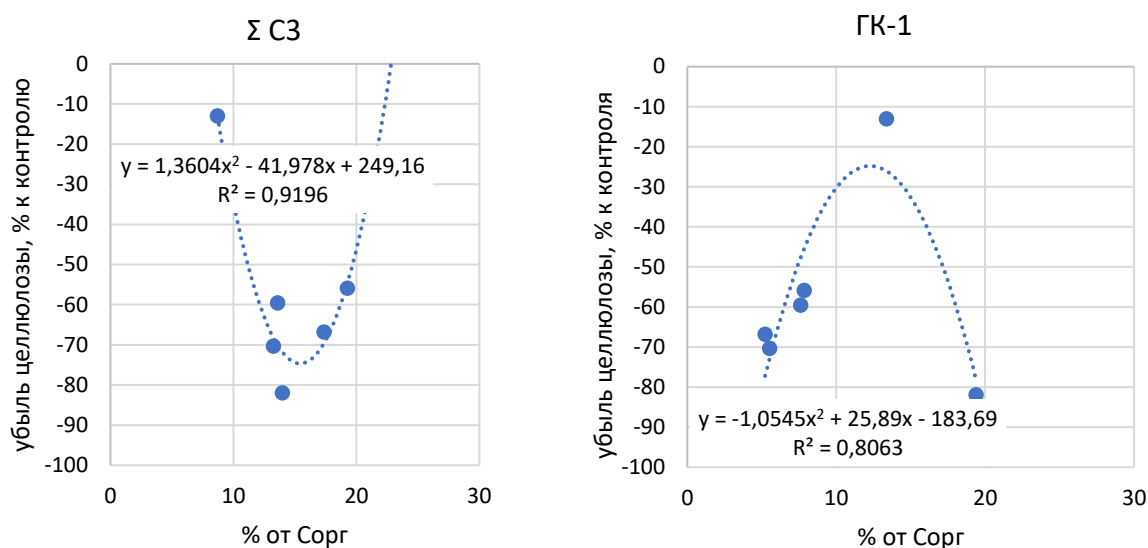


Рисунок 1 – Наиболее приемлемые регрессионные модели связей показателей гумуса и целлюлозолитической способности почв рекреационных и дворовых территорий

Средняя связь показателя целлюлозолитической активности почвы выявлена с содержанием подвижных фракций гумусовых веществ фульватной природы – ФК-1 и ФК-1а, а также с фракцией ГК-3 и показателем качества гумуса (Сгк/Сфк) и описывалась полиномиальной функцией (таблица 1). Связь между интенсивностью разложения целлюлозы и показателями суммы фульватных фракций гумуса, а также показателем Σ СЗ также была средней, а удовлетворительная корреляционная модель описывалась уже степенной функцией.

Также следует отметить слабую связь между валовым содержанием органического вещества в почве и активностью целлюлозолитического почвенного комплекса, что может свидетельствовать о нарушении экологических связей в почвах исследуемых рекреационных и дворовых территорий.

В почвах, прилегающих к железнодорожному полотну, обращает на себя внимание довольно высокая обеспеченность гумусом (5,33 %), что было наиболее высоким значением среди всех исследованных почв, а целлюлозолитическая способность этих почв была сильная – всего на 26,5 % ниже, чем в контроле.

Однако корреляционный анализ имеющихся данных снова не выявил значимой связи между показателем целлюлозолитической активности данных почв с их гумусированностью ($r = 0,35$).

Как следствие слабой связи отмечается, что почвенному образцу с наиболее высоким содержанием гумуса (6,12 %) соответствовала наиболее слабая способность данных почв к разложению органического вещества (51,9 %), и в то же время в почвенном образце, в котором отмечено наиболее полное разложение льняной пластинки (71 %), выявлено сопоставимо высокое содержание гумуса (6,09 %), что может свидетельствовать о значительном варьировании условий, влияющих на разложение целлюлозы.

Корреляционный анализ показателей почв, расположенных вдоль железнодорожного полотна, выявил наибольшее количество связей среди всех прочих вариантов исследуемых территорий (таблица 2).

Так, отмечается тесная отрицательная связь целлюлозолитической способности почв с почвенной кислотностью ($r = -0,81$), при этом следует учитывать, что диапазон варьирования кислотности данных почв был очень узким (рН 6,88–7,58). Также установлено рост показателя целлюлозолитической способности почв данной группы с повышением доли гумусовых веществ гуминовой группы в целом ($r = 0,85$).

На функциональное состояние целлюлозолитического комплекса организмов положительно сказывается и повышение доли отдельных фракций гуминовых веществ: ГК-1 ($r = 0,91$) и ГК-3 ($r = 0,96$).

Любопытно, что увеличение в составе гумуса доли фракции, связанной с кальцием, в почвах возле железных дорог приводит к ингибированию процесса разложения целлюлозы – $r_{\text{ФК-2}} = -0,98$, что в целом согласуется с обратной зависимостью ЦЛС и рН, поскольку нейтрализация почвенной кислотности происходит за счет накопления зольных элементов, в том числе закрепляемых во второй группе фракций.

В связи с тем, что фракционно-групповой состав гумуса почв железнодорожных объектов был установлен всего для трех почвенных образцов, проведение регрессионного анализа было нецелесообразным.

Регрессионный анализ был проведен лишь в отношении таких показателей, как реакция почвенной среды и валовое содержание гумуса.

Таким образом, была выявлена средняя связь между кислотностью изучаемых почв и интенсивностью разложения целлюлозы, тогда как связь показателя биологической активности изучаемых почв с их гумусированностью отсутствовала (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание и состав гумуса (X) почв, расположенных вдоль железнодорожного полотна, сопряженность с показателями целлюлозолитической активности почв (Y)

ЦЛС	рН	Сорг	ГК				ФК					НО	ГК/ ФК	Σ C1	Σ C2	Σ C3
			1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ					
-26,5	7,43	3,09	4,03	4,41	8,4	16,84	0,83	3,97	2,17	6,86	13,84	69,32	1,33	8,83	6,58	15,26
$\pm 5,22$	$\pm 0,08$	$\pm 0,26$	$\pm 0,71$	$\pm 0,85$	$\pm 2,27$	$\pm 3,47$	$\pm 0,46$	$\pm 1,22$	$\pm 0,26$	$\pm 2,16$	$\pm 3,73$	$\pm 6,72$	$\pm 0,24$	$\pm 2,21$	$\pm 0,9$	$\pm 3,9$
$r_{\text{ЦЛС}}$	-0,81	0,35	0,91	0,17	0,96	0,85	–	0,57	-0,98	0,28	0,28	-0,60	0,21	0,61	-0,12	0,71
R^2_{XY}	0,61	0,13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
f	Пн	Пн	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Территории техногенных объектов были очень разнообразны по своему функциональному назначению.

Сюда мы относили почвы, прилегающие к автомойкам, автозаправочным станциям, котельной, заводским территориям строительной, энергетической, радиотехнической и др. направленности, а также прилегающей к месту складирования свинцовой золы. Разнообразие условий почв техногенных объектов способствовало значительному варьированию регистрируемых показателей, о чем свидетельствуют значения ошибок средних арифметических (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание и состав гумуса (X) почв территорий техногенных объектов, сопряженность с показателями целлюлозолитической активности почв (Y)

ЦЛС	рН	Сорг	ГК				ФК					НО	ГК/ФК	Σ C1	Σ C2	Σ C3
			1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ					
-41,47	7,85	1,71	7,58	5,52	8,01	21,11	3,3	7,24	4,5	9,8	24,83	54,06	0,94	18,12	10,02	17,8
$\pm 10,25$	$\pm 0,14$	$\pm 0,41$	$\pm 1,18$	$\pm 0,94$	$\pm 0,95$	$\pm 2,08$	$\pm 0,76$	$\pm 1,42$	$\pm 1,06$	$\pm 1,04$	$\pm 2,3$	$\pm 3,46$	$\pm 0,10$	$\pm 2,19$	$\pm 1,17$	$\pm 1,18$
$r_{цлс}$	0,36	0,12	0,06	0,47	0,30	0,34	0,15	0,34	0,08	0,44	0,47	-0,53	-0,2	0,32	0,38	0,58
R^2_{xy}	0,61	0,47	0,39	0,25	0,20	0,24	0,09	0,17	0,06	0,71	0,23	0,30	0,06	0,27	0,32	0,53
f	Пн	Пн	Пн	Лг	Пн	Пн	Лг	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн

Как следствие значительного варьирования регистрируемых показателей изучаемых почв техногенных объектов выявлено отсутствие тесной корреляционной связи между их целлюлозолитической способностью и гумусовыми показателями. Так, наиболее тесная связь была выявлена между ЦЛС и суммой фракций наиболее прочно связанной с минеральной основой почвы: $r = 0,58$, а корреляционная связь между ЦЛС и валовым содержанием гумуса и вовсе была одной из наиболее слабых: $r = 0,12$.

Варьирование значений регистрируемых показателей почв техногенных объектов также не позволило построить и приемлемые регрессионные модели. Наиболее приемлемыми были лишь две: описывающие нелинейную связь между интенсивностью разложения целлюлозы в почве и показателями содержания прочно связанных фракций гумуса (рисунок 2).

Умеренная связь целлюлозолитической активности почвы была выявлена также и с кислотностью изучаемых почв – $R^2 = 0,61$, которая описывалась следующим уравнением регрессии: $y = 197,72x^2 - 3078,8x + 11939$.

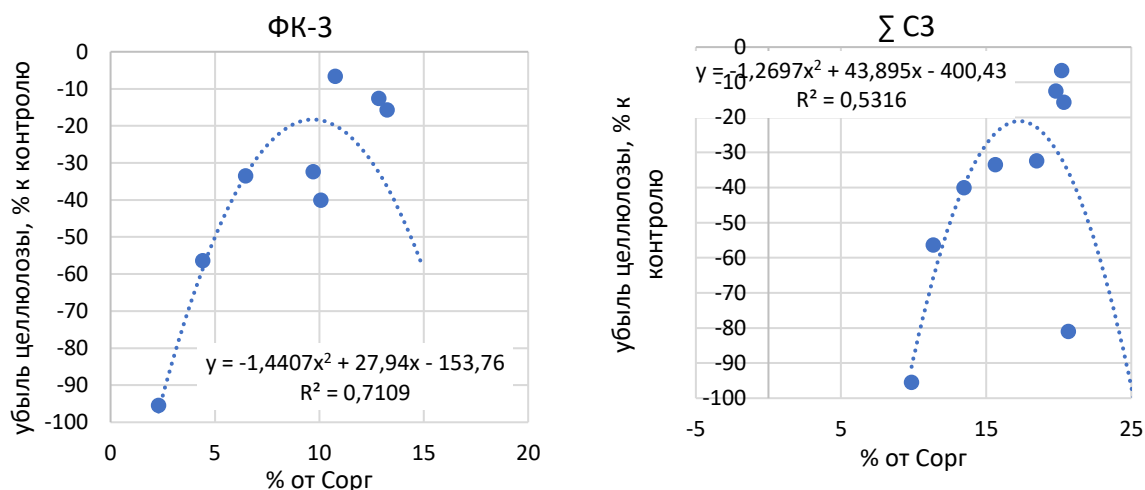


Рисунок 2 – Наиболее приемлемые регрессионные модели связей показателей гумуса и целлюлозолитической способности почв территорий техногенных объектов

Почвы придорожных территорий преимущественно характеризуются сложно диагностируемым генезисом, т. к. основой для них чаще всего является привнесенный материал, сформировавшийся в экологических условиях, резко отличающихся от условий городской среды. Значительное варьирование интенсивности техногенной и антропогенной нагрузки на фоне сложного генезиса данных почв не позволило выявить четкую корреляционную связь между гумусовыми показателями и интенсивностью разложения целлюлозы почв придорожных территорий. Следует отметить лишь

тенденции повышения их биологической активности при увеличении суммы гуминовых веществ в целом и фракции, прочно связанной с минеральной основой почв: ГК-3 ($r = 0,56$ и $r = 0,62$ соответственно), а также суммы прочно связанных гумусовых веществ: С3 ($r = 0,61$).

Прочие гумусовые характеристики существенного влияния в регулировании деятельности целлюлозолитического пула организмов не имели (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание и состав гумуса (X) почв придорожных территорий, сопряженность с показателями целлюлозолитической активности почв (Y)

ЦЛС	рН	Сорг	ГК				ФК					НО	ГК/ФК	Σ С1	Σ С2	Σ С3
			1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ					
-49,61	7,33	1,44	6,53	3,72	8,24	18,49	3,43	5,36	4,42	9,58	22,8	58,71	0,95	15,33	8,14	17,82
±6,79	±0,08	±0,18	±0,74	±0,62	±1,1	±1,56	±0,76	±0,56	±1,12	±1,28	±2,12	±2,46	±0,12	±1,3	±1,39	±1,89
$r_{ЦЛС}$	-0,26	0,33	0,09	0,2	0,62	0,56	-0,46	0,33	-0,26	0,38	0,02	-0,33	0,03	-0,1	-0,12	0,61
R^2_{XY}	0,08	0,38	0,22	0,06	0,54	0,72	0,27	0,21	0,09	0,47	0,43	0,43	0,44	0,43	0,32	0,61
f	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн

Использование методов регрессионного анализа позволило выявить более тесные связи, имеющие нелинейный характер, а приемлемые регрессионные модели описывались полиномиальными уравнениями третьей степени, а коэффициент детерминации не превышал 0,72 (таблица 4, рисунок 3). Данные модели описывали связь между целлюлозолитической способностью почв придорожных территорий и содержанием суммы гумусовых веществ гуминовой природы (Σ ГК), а также суммарным содержанием прочносвязанных фракций гумуса (Σ С3).

Наличие в почвах придорожных территорий связей, имеющих сложный нелинейный характер, приводит к сложным режимам функционирования систем, определяет их способность к самоорганизации и обуславливает устойчивость и гибкую реакцию на внешние воздействия [12; 13].

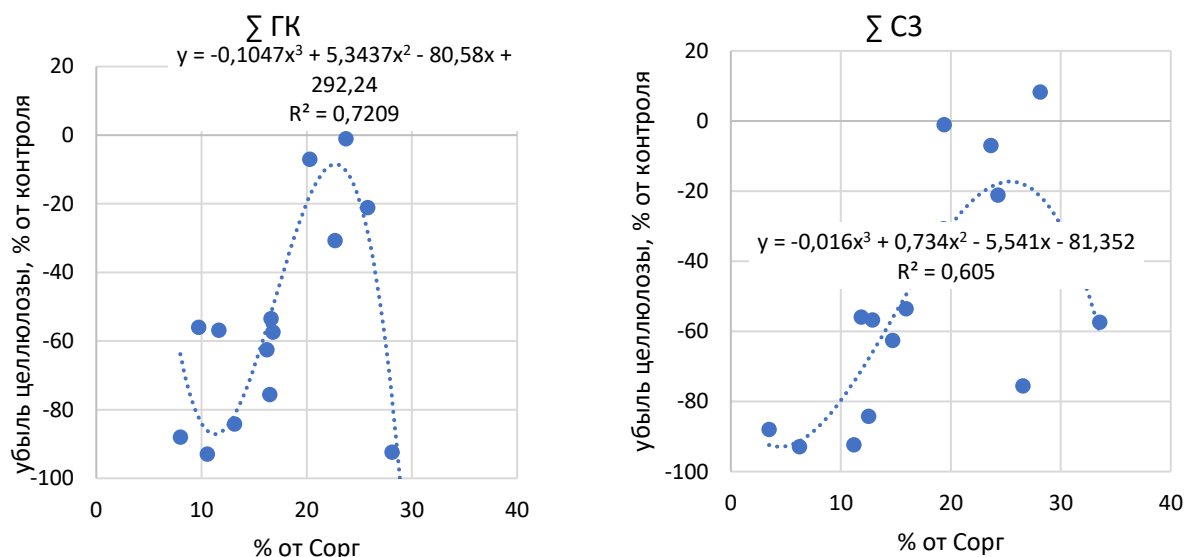


Рисунок 3 – Наиболее приемлемые регрессионные модели связей показателей гумуса и целлюлозолитической способности почв придорожных территорий

В то же время корреляционно-регрессионный анализ при оценке общего массива имеющихся данных без учета вида урбанизированных территорий тесных связей между изучаемыми признаками не выявил. Установлена умеренная связь между цел-

люлозолитической способностью почв и суммой прочносвязанных фракций гумуса и описывалась полиномиальным уравнением третьей степени (рисунок 4). Связь между изучаемыми признаками носила преимущественно характер тенденций.

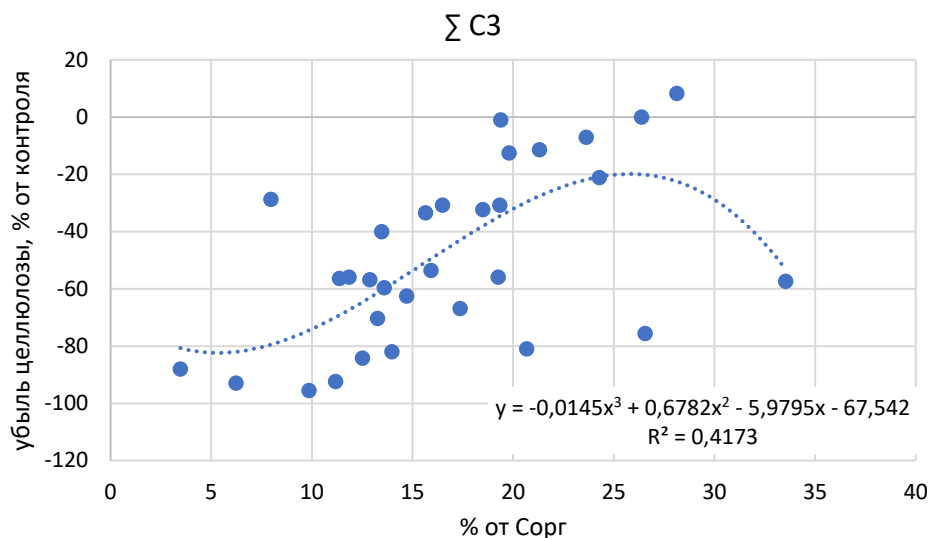


Рисунок 4 – Наиболее приемлемая регрессионная модель связи показателей гумуса и целлюлозолитической способности почв без учета вида урбанизированных территорий

Анализируя данные, сгруппированные по видам урбанизированных территорий, и учитывая рекреационные и дворовые территории отдельно, включив в анализ данные почвенного образца, используемого в качестве контроля, целлюлозолитическую способность которого принимали за ноль, было выявлено, что показатель способности почв к разложению органических веществ тесно связан не только с показателем валового содержания гумуса в почве, но и с целым рядом показателей фракционно-группового состава гумуса (таблица 5).

Таблица 5 – Коэффициенты корреляции и детерминации между гумусовыми показателями (X) почв урбанизированных территорий и показателями их целлюлозолитической активности (Y)

	рН	Сорг					ГК					ФК					НО	ГК/ФК	Σ С1	Σ С2	Σ С3
			1	2	3	Σ	1а	1	2	3	Σ	1а	1	2	3	Σ					
гцлс	0,65	0,87	-0,81	-0,40	0,39	-0,87	-0,71	-0,87	-0,55	-0,27	-0,93	0,93	0,94	-0,83	-0,59	-0,13					
R² _{xy}	0,42	0,77	0,78	0,18	0,54	0,83	0,59	0,86	0,41	0,10	0,87	0,87	0,95	0,80	0,53	0,67					
f	Лн	Пн	Пн	Пн	Пн	Пн	Лг	Пн	Пн	Пн	Лн	Лн	Пн	Пн	Пн	Пн					

Так, наиболее тесная корреляционная связь показателя ЦЛС отмечается с показателем качества гумуса: Сгк/Сфк ($r = 0,94$), долей негидролизующего остатка ($r = 0,93$) и общим содержанием фульвокислот. При этом рост доли фульвокислот в составе гумуса способствовал снижению показателя ЦЛС ($r = -0,93$). Способность почвы к разложению целлюлозы снижалась и при повышении экстрагируемости гумусовых веществ.

Повышение активности пула целлюлозолитических микроорганизмов отмечалось в почвенных образцах с более качественным составом гумуса. При этом повышение доли как отдельных фракций подвижных гумусовых веществ в составе гумуса (ГК-1, ФК-1, ФК-1а), так и их суммы (С1), что, как правило, было связано с ингибированием процесса разложения целлюлозы в почве.

Применение регрессионного анализа подтвердило наличие связи биологической активности почв с большинством гумусовых показателей (таблица 5). Анализ полученных данных свидетельствует о снижении биологической активности почв урбанизированных территорий по мере повышения экстрагируемости гумусовых веществ и увеличении доли подвижных фракций в составе гумуса.

Заклучение

Связь между целлюлозолитической способностью почв, содержанием и фракционно-групповым составом гумуса в исследованных почвах урбанизированных территорий юго-западной части Беларуси носит преимущественно нелинейный характер и зависит от вида урбанизированной территории.

Наиболее тесные связи выявлены в наименее трансформированных и подверженных техногенному и антропогенному воздействию почвах, формирующихся на основе зональных почв, – в почвах рекреационных территорий. С ростом техногенного и антропогенного влияния на почвенный покров урбанизированных территорий отмечается нарушение связи между гумусовыми показателями почв урбанизированных территорий и их способностью к разложению целлюлозы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смагин, А. В. Городские почвы / А. В. Смагин // Природа. – 2010. – № 7. – С. 16–23.
2. Об утверждении Правил содержания озелененных территорий // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Мн., 2020. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22035636> (дата обращения: 15.07.2025).
3. Лысак, Л. В. Бактериальные сообщества городских почв : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.03 / Лысак Людмила Вячеславовна. – М., 2010. – 304 л.
4. Иванова, А. Е. Изменение целлюлозолитической активности городских почв в связи с изъятием растительного опада (на примере Москвы) / А. Е. Иванова, В. В. Николаева, О. Е. Марфенина // Почвоведение. – 2015. – № 5. – С. 562–570.
5. Козлова, В. В. Влияние доз азотного удобрения и содержания гумуса на целлюлозо-разлагающую активность почвы в посевах озимой пшеницы / В. В. Козлова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3. – С. 104–107.
6. Мишустин, Е. Н. Определение биологической активности почвы / Е. Н. Мишустин, А. Н. Петрова // Микробиология. – 1963. – Т. 31, № 3. – С. 479–483.
7. Практикум по агрохимии : учеб. пособие / О. А. Амелянчик [и др.] ; под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
8. Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 272 с.
9. Домась, А. С. Оценка способности некоторых придорожных почв г. Бреста к разложению целлюлозы / А. С. Домась, М. Г. Рахуба, М. А. Колядич // Эволюция и деградация почвенного покрова : сб. науч. ст. по материалам VI Междунар. науч. конф., Ставрополь, 19–22 сент. 2022 года. – Ставрополь : СЕКВОЙЯ, 2022. – С. 178–181.
10. Домась, А. С. Целлюлозолитическая способность почв некоторых рекреационных территорий г. Бреста / А. С. Домась, М. Г. Рахуба, М. А. Колядич // Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение : материалы междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 60-летию НИЛ экологии ландшафта фак. географии и геоинформатики БГУ, Минск, 9–11 нояб. 2022 г. ; редкол.: Д. С. Воробьев (отв. ред.) [и др.]. – Мн. : БГУ, 2022. – С. 73–76.
11. Домась, А. С. Гумусовое состояние почв г. Бреста / А. С. Домась, Н. В. Шкуратова, И. Д. Лукьянчик // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 41–49.
12. Моделирование динамики органического вещества почв / А. В. Смагин [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 120 с.

13. Шеин, Е. В. Математическое моделирование в почвоведении / Е. В. Шеин, И. М. Рыжова. – М. : ИП Маракушев А. Б., 2016. – 377 с.

REFERENCES

1. Smagin, A. V. Gorodskie pochvy / A. V. Smagin // Priroda. – 2010. – № 7. – S. 16–23.
2. Ob utverzhdenii Pravil sodержaniya ozelenennykh territorii // Natsional'nyi pravovoi Internet-portal Respubliki Belarus'. – Mn., 2020. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=-12551&p0=W22035636> (data obrashcheniya: 15.07.2025).
3. Lysak, L. V. Bakterial'nye soobshchestva gorodskikh pochv : dis. ... d-ra biol. nauk : 03.02.03 / Lysak Lyudmila Vyacheslavovna. – M., 2010. – 304 l.
4. Ivanova, A. Ye. Izmenenie tsellyulozoliticheskoi aktivnosti gorodskikh pochv v svyazi s iz'yatiem rastitel'nogo opada (na primere Moskvy) / A. Ye. Ivanova, V. V. Nikolaeva, O. Ye. Marfenina // Pochvovedenie. – 2015. – № 5. – S. 562–570.
5. Kozlova, V. V. Vliyanie doz azotnogo udobreniya i sodержaniya gumusa na tsellyulozorazlagayushchuyu aktivnost' pochvy v posevakh ozimoi pshenitsy / V. V. Kozlova // Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2019. – № 3. – S. 104–107.
6. Mishustin, Ye. N. Opredelenie biologicheskoi aktivnosti pochvy / Ye. N. Mishustin, A. N. Petrova // Mikrobiologiya. – 1963. – T. 31, № 3. – S. 479–483.
7. Praktikum po agrokhimii : ucheb. posobie / O. A. Amel'yanchik [i dr.] ; pod red. V. G. Mineeva. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Izd-vo MGU, 2001. – 689 s.
8. Orlov, D. S. Praktikum po khimii gumusa / D. S. Orlov, L. A. Grishina. – M. : Izd-vo Mosk. un-ta, 1981. – 272 s.
9. Domas', A. S. Otsenka sposobnosti nekotorykh pridorozhnykh pochv g. Bresta k razlozheniyu tsellyulozy / A. S. Domas', M. G. Rakhuba, M. A. Kolyadich // Evolyutsiya i degradatsiya pochvennogo pokrova : sb. nauch. st. po materialov VI Mezhdunar. nauch. konf., Stavropol', 19–22 sent. 2022 goda. – Stavropol' : SEKVOIYA, 2022. – S. 178–181.
10. Domas', A. S. Tsellyulozoliticheskaya sposobnost' pochv nekotorykh rekreatsionnykh territorii g. Bresta / A. S. Domas', M. G. Rakhuba, M. A. Kolyadich // Aktual'nye voprosy ustoichivogo prirodopol'zovaniya: nauchno-metodicheskoe obespechenie i prakticheskoe reshenie : materialy mezhdunar. nauch.-praktich. konf., posvyashch. 60-letiyu NIL ekologii landshafta fak. geografii i geoinformatiki BGU, Minsk, 9–11 noyab. 2022 g. ; redkol.: D. S. Vorob'ev (otv. red.) [i dr.]. – Mn. : BGU, 2022. – S. 73–76.
11. Domas', A. S. Gumusovoe sostoyanie pochv g. Bresta / A. S. Domas', N. V. Shkuratova, I. D. Luk'yanchik // Vesnik Brestskaga universiteta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 41–49.
12. Modelirovanie dinamiki organicheskogo veshchestva pochv / A. V. Smagin [i dr.]. – M. : Izd-vo MGU, 2001. – 120 s.
13. Shein, Ye. V. Matematicheskoe modelirovanie v pochvovedenii / Ye. V. Shein, I. M. Ryzhova. – M. : IP Marakushev A. B., 2016. – 377 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 24.07.2025