

Брянская И.П., Васенев В.И., Брыкова Р.А. Устойчивость органического вещества в почвогрунтах при различных гидрометрических условиях

.....  
**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

=====  
УДК: 504.53.06

**Устойчивость органического вещества в почвогрунтах при различных гидротермических условиях**

*Брянская И.П., Васенев В.И., Брыкова Р.А.*

*Российский университет дружбы народов*

**Аннотация**

*Устойчивость органического вещества в почвогрунтах и их компонентах в значительной степени определяется режимами температуры и влажности. Исследование посвящено анализу отклика микробной эмиссии CO<sub>2</sub> (базального дыхания) наиболее распространенных вариантов почвогрунтов, используемых в городском озеленении, на контрастные гидротермические условия. Изучаемые почвогрунты были близки по реакции среды, но очень контрастны по содержанию общего углерода (от 1.6% до 26.9%). Изучение широкого диапазона температуры (10°C, 22°C, 30°C и 40°C) и влажности почвы (влажность завядания (ВЗ), наименьшая влагоемкость (НВ) и полная я влагоемкость (ПВ)) позволило воспроизвести различные метеорологические условия, характерные для городов умеренного климата в течение вегетационного сезона. Зависимость базального дыхания от температуры была статистически достоверной и имела ярко выраженный линейный характер с коэффициентами регрессии от 0.88 (для торфо-песчаной смеси) до 0.94 (для компоста), что подтвердило определяющее воздействие характера температурного режима на устойчивое функционирование городских почв.*

**Ключевые слова:** УРБАНИЗАЦИЯ, ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ, ЭМИССИИ CO<sub>2</sub>, ПОЧВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, ТОРФ, ТОРФО-ПЕСЧАНАЯ СМЕСЬ, ПОЧВЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ (КОНСТРУКТОЗЕМЫ).

---

**Введение**

Урбанизация – одна из ключевых тенденций изменения современного землепользования [28]. Темпы урбанизации постоянно растут, и, по прогнозам ООН, от 60 до 80% мирового населения будет жить в городах и мегаполисах к 2050 году [19; 30]. Трансформация естественных экосистем в городские, приводит к необратимым изменениям растительного и почвенного покрова [25; 2]. Городские почвы являются ключевым компонентом урбоэкосистем [14]. В почвенном покрове Москвы, как и многих

Брянская И.П., Васенев В.И., Брыкова Р.А. Устойчивость органического вещества в почвогрунтах при различных гидрометрических условиях

.....  
*Электронный научно-производственный журнал*

**«АгроЭкоИнфо»**

=====

других мегаполисов мира, значительную часть составляют техногенные почвоподобные образования - почвенные конструкции [8; 9]. Почвенные конструкции являются искусственно созданными моделями на основе природных и синтетических материалов, поддерживающие рост и развитие зеленой инфраструктуры и выполняющие функции почв [13]. Технология почвенного конструирования, включая выбор материалов, мощности и последовательности горизонтов, определяет свойства почвенных конструкций и экологические функции, которые они выполняют.

Экологические функции городских почв оказывают принципиальное влияние на состояние окружающей среды, здоровье и благосостояние человека [23]. Депонирование углерода – важная экологическая функция почвы [7]. Важной характеристикой функционирования почвы является устойчивость органического вещества к биологическому, химическому и физическому разрушению [22]. Одним из основных факторов, определяющих минерализацию органического вещества в городских почвах, являются гидротермические условия – температура и влажность [32]. Воздействие температуры особенно актуально для городской среды, для которой характерны мезоклиматические аномалии, в частности городской остров тепла [24; 31].

Москва – крупнейший мегаполис России. Создание и развитие городской зеленой инфраструктуры – основное направление для обеспечения комфортных условий жизни в городе. Ежегодно для задач озеленения и благоустройства в Москву ввозят более 1 млн м<sup>3</sup> почвогрунтов и их компонентов [10]. Наиболее распространенными материалами, используемыми для почвенного конструирования в Московском мегаполисе, являются торф, песок, компост и срезка (верхний слой почвы, перемещенный в процессе строительства), а также смеси, созданные на основе этих компонентов. Устойчивость органического вещества в создаваемых на их основе почвенных конструкциях остается мало изученной, в то время как практика городского озеленения нуждается в стандартах почвенных конструкций, обеспечивающих устойчивое функционирование экосистем [1], в том числе и при меняющихся гидротермических условиях.

В статье дана оценка устойчивости органического вещества в субстратах, используемых для строительства городских почв, за счет анализа микробной эмиссии CO<sub>2</sub> субстратами при контрастных гидротермических условиях.

Брянская И.П., Васенев В.И., Брыкова Р.А. Устойчивость органического вещества в почвогрунтах при различных гидрометрических условиях

.....  
*Электронный научно-производственный журнал*

**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

## **Объекты и методы**

### Объекты

Москва – основной центр урбанизации в России, и один из крупнейших мегаполисов мира. Проблема адаптации городских почв и почвенных конструкций к климатическим условиям очень востребована. Для оценки устойчивости органического вещества компонентов почвенных конструкций были выбраны образцы четырех различных субстратов: торф низинный, *торфо-земельная смесь* (ТЗС), *торфо-песчаная смесь* (ТПС) и компост, наиболее часто используемых в практике озеленения и благоустройства г. Москва.

### Методы

В образцах изучены рН<sub>H2O</sub> [5], подвижные формы фосфора и калия [4]. Общее содержание С и N определялось на CN анализаторе Vario TOC Select (Elementar, США) [18], методом сухого сжигания.

*Содержание углерода микробной биомассы (Смик)* измеряли методом *субстрат-индуцированного дыхания* (СИД), основанным на регистрации начального максимального выделения CO<sub>2</sub> из обогащенной глюкозой почвы, которое пропорционально содержанию микробной биомассы [17; 15]. Навеску почвы помещали в виалу, добавляли раствор глюкозы (0.1 мл г<sup>-1</sup>, 5 мг глюкозы г<sup>-1</sup>), герметично закрывали и инкубировали при 22°C в течение 3-5 ч. Затем определяли концентрацию CO<sub>2</sub> на газовом хроматографе Кристалл-2000М (Хроматэк, РФ).

Определение содержания *химически лабильных органических соединений углерода (ХЛОСУ)*. К навеске почвы 2.5 г добавляли 2 мл раствора 0.2 МКМnO<sub>4</sub> (приготовленного в 1 М СаCl<sub>2</sub>) и 18 мл дистиллированной H<sub>2</sub>O, после чего суспензию центрифугировали при 240 оборотах в минуту для разделения фаз. Оставшийся в надосадочной жидкости MnO<sub>4</sub><sup>-2</sup> определяли спектрофотометрически при 550 нм [3; 26].

*Анализ основной гидрофизической характеристики (ОГХ) почв методом равновесного центрифугирования.* Образцы почвы предварительно насыщали 24 часа до полной влагоемкости. Затем и центрифугировали при разной скорости по нарастанию от 240 до 8000 оборотов в минуту. Под воздействием центробежной силы происходило удаление влаги из образца почвы. Зависимость влажности и потенциала почвенной влаги аппроксимировали по уравнению Ван Генухтена [12]. На основании полученных кривых

Брянская И.П., Васенев В.И., Брыкова Р.А. Устойчивость органического вещества в почвогрунтах при различных гидрометрических условиях

.....  
**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

=====

ОГХ рассчитывались почвенно-гидрологических констант: влажность завядания (ВЗ), наименьшая влагоемкость (НВ) и полная я влагоемкость (ПВ).

Микробная эмиссия CO<sub>2</sub> при контрастных гидротермических условиях. Образцы почвы инкубировали в течение 24 ч при различных температурных режимах: 10°C, 22°C, 30°C и 40°C и различной влажности, соответствующей почвенно-гидролитическим константам ВЗ, НВ и ПВ. После инкубации в течение 7 суток, определялась микробиологическая эмиссия CO<sub>2</sub> на газовом хроматографе «Kristal-2000M» (Хроматэк, РФ). Для исключения влияния сорбции части продуцированного CO<sub>2</sub> на поверхности почвенных частиц проводилась термодесорбция в сушильном шкафу.

Статистическая обработка

Результаты были обработаны с использованием программного обеспечения МО Excel и Statistica 8.0 для оценки регрессионных зависимостей между микробным дыханием, температурой и влажностью.

**Результаты и обсуждение**

*1. Свойства субстратов*

По результатам лабораторных анализов показано, что изучаемые субстраты значительно различались как по общему содержанию углерода, так и по соотношению различных форм (Смик и ХЛОСУ) (Табл. 1). Общее содержание углерода в субстратах варьировало от 1.6% в ТПС и до 26.9% в ТЗС. Содержание Смик в субстрате ТЗС было в 2-5 раз выше, чем в остальных субстратах, что свидетельствует о микробиологической активности субстрата и доступности углерода для микроорганизмов. Максимальное содержание лабильной фракции углерода показано в компосте, в то время как для остальных субстратов значения ХЛОСУ были близки. Соотношение С/Н в ТПС и низинном торфе было близко к оптимальному (15-16), в то время как для других субстратов показаны значительно более высокие значения, что может свидетельствовать как о дефиците N, так и об избытке С. В субстратах нет дефицита содержания подвижного фосфора и калия, а для компоста отмечен избыток обоих элементов. Полная влагоемкость варьировала от 49% для ТПС до 183% для ТЗС. Различия кислотности всех субстратов находились в пределах 0.4 и определялась, как близкая к нейтральной, что позволило использовать единый коэффициент расчета

межфазового взаимодействия при анализе эмиссии углекислого газа, т.к. увеличение эмиссии с ростом рН не является значимым в данном диапазоне [27].

Таблица 1. Свойства субстратов (смесей и компонентов), выбранных для анализа влияния гидротермических условий на газовую функцию

Субстрат	рН <sub>H2O</sub>	P, мг/кг	K, мг/кг	ХЛОСУ, мг/кг	C (%)	N (%)	C/N	ППВ (%)	C <sub>мик</sub> мкг С г <sup>-1</sup> почвы
Торф низинный	6.57	219.81	620.0	549.5	25.2	1.6	15	135.81	329
ТПС	6.33	145.57	890.0	415.9	1.6	0.1	16	48.58	139
Компост	6.76	774.89	1920. 0	1409.9	16.4	0.7	23	133.1	245
ТЗС	6.5	258.84	1030. 0	600.6	26.9	1.5	18	183.70	665

## 2. Устойчивость органического вещества

Анализ устойчивости органического вещества изучаемых субстратов проводился по отклику микробной эмиссии CO<sub>2</sub> на изменение гидротермических условий. Средняя микробная эмиссия значимо отличалась между субстратами (ANOVA, LSD-тест): значения для ТЗС были вдвое выше, чем для низинного торфа и компоста и в четыре раза выше, чем для ТПС (рис. 1). Микробная эмиссия CO<sub>2</sub> субстратов на порядок превышает значения, описанные для естественных почв [16], что объясняется как влиянием гидротермических факторов, так и высоким содержанием углерода и его низкой устойчивостью. Так для ТЗС показаны самые высокие содержания общего и микробного углерода, а соотношения C<sub>мик</sub>/C и ХЛОСУ/C были выше, чем для торфа и компоста.

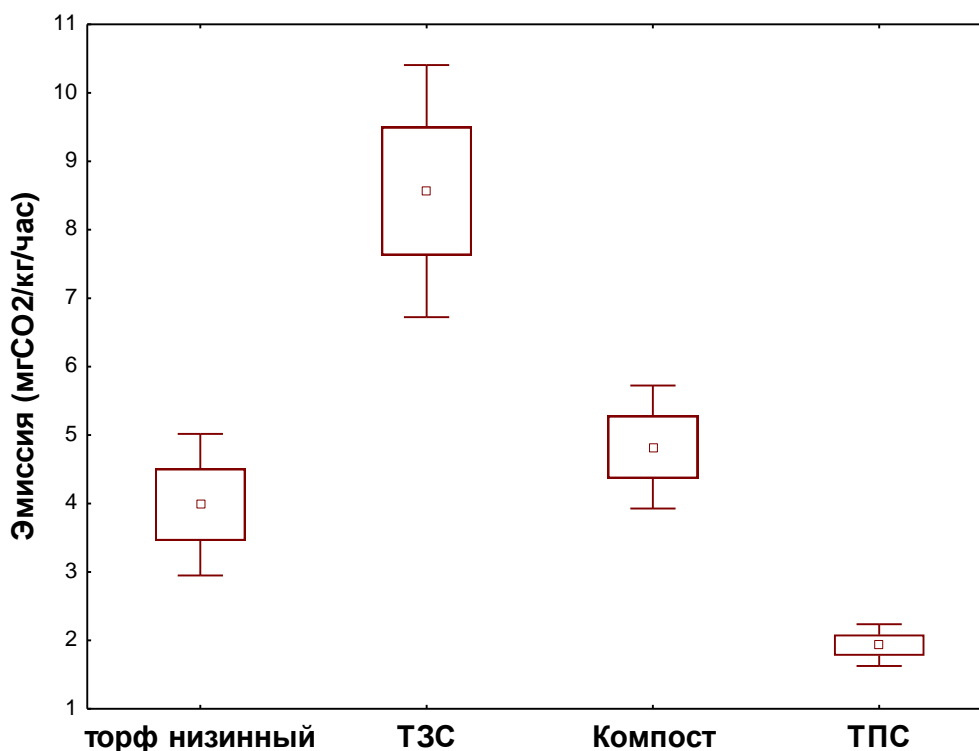


Рис. 1 Микробная эмиссия CO<sub>2</sub> (обобщенные данные для различных гидротермических условий)

### 3. Анализ влияния температуры и влажности на микробную эмиссию CO<sub>2</sub>

В результате лабораторного эксперимента для исследуемых субстратов показана статистически значимая линейная зависимость микробной эмиссии CO<sub>2</sub> от температуры с коэффициентами регрессии от 0.56 (для ТЗС) до 0.93 (для компоста) (Рис. 2). Выявленная линейная зависимость соответствует закономерностям, показанным ранее как для городских, так и для естественных почв [29; 21]. Температурные коэффициент Q<sub>10</sub>, показывающие во сколько раз увеличивается эмиссия CO<sub>2</sub> при увеличении температуры почвы на 10°C, показал снижение устойчивости органического вещества субстратов к повышению температуры в следующей последовательности: ТЗС (Q<sub>10</sub> = 1.42) < компост (Q<sub>10</sub> = 1.72) < ТПС (Q<sub>10</sub> = 1.75) < торф низинный (Q<sub>10</sub> = 2.03). Таким образом, можно предположить, что потепление температуры почвы с 20 до 30°C, характерное для почв Москвы в летний период, вызовет двухкратное увеличение эмиссии CO<sub>2</sub> для почвогрунтов на основе низинного торфа и увеличение на 40-70% для других субстратов. Полученные данные также соответствуют исследованиям, проводимым Гао с соавторами, в котором почвы с более высоким содержанием лабильного углерода были наиболее чувствительны к

изменениям абиотических факторов [20].

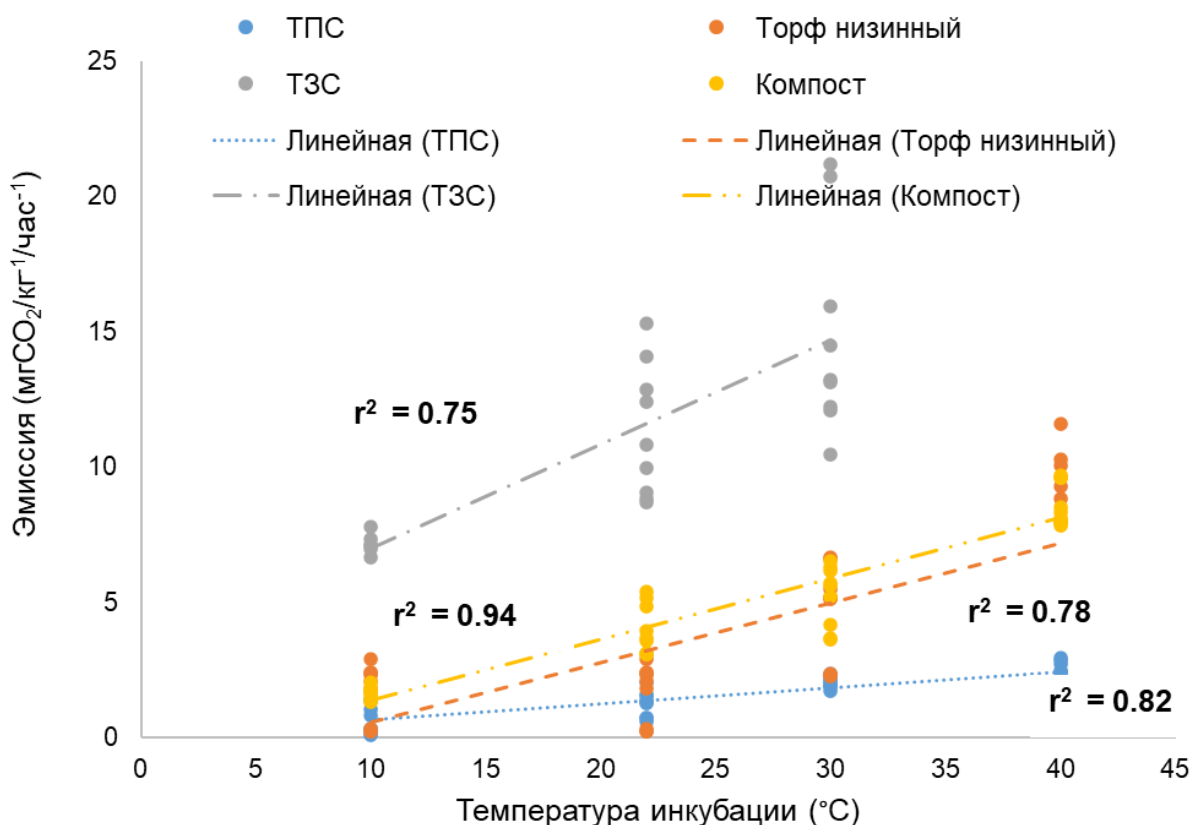


Рис. 2. Зависимость микробной эмиссии CO<sub>2</sub> от температуры инкубации для субстратов ТПС, компост и торф низинный ( $r^2$  – коэффициент корреляции Пирсона)

Влияние влажности на эмиссию углекислого газа имело более сложный характер и по-разному проявлялась для разных температур. При температуре 30°C показано статистически достоверное увеличение эмиссии CO<sub>2</sub> с увеличением влажности образцов при максимальной эмиссии при ПВ. Для 22°C и 40°C зависимость была ближе к куполообразной кривой с максимальными значениями при НВ. Наконец, при 10°C не выявлено статистически значимых различий эмиссии CO<sub>2</sub> в зависимости от условий увлажнения. При этом при низких температурах увеличивалось количество CO<sub>2</sub>, адсорбированного на поверхности почвы, а соответственно возрастал эффект термодесорбции, как метода более точной оценки микробной продукции CO<sub>2</sub> (Рис. 3). Максимальная микробная эмиссия CO<sub>2</sub> соответствует оптимальным гидротермическим условиям для развития почвенных микроорганизмов, в связи с чем ингибирующий эффект можно ожидать от экстремальных значений температуры и влажности. В частности,

избыточная влажность может снижать микробиологическую активность из-за анаэробных условий, в то время как дефицит влаги также будет лимитировать скорость прироста микробной биомассы [11; 6].

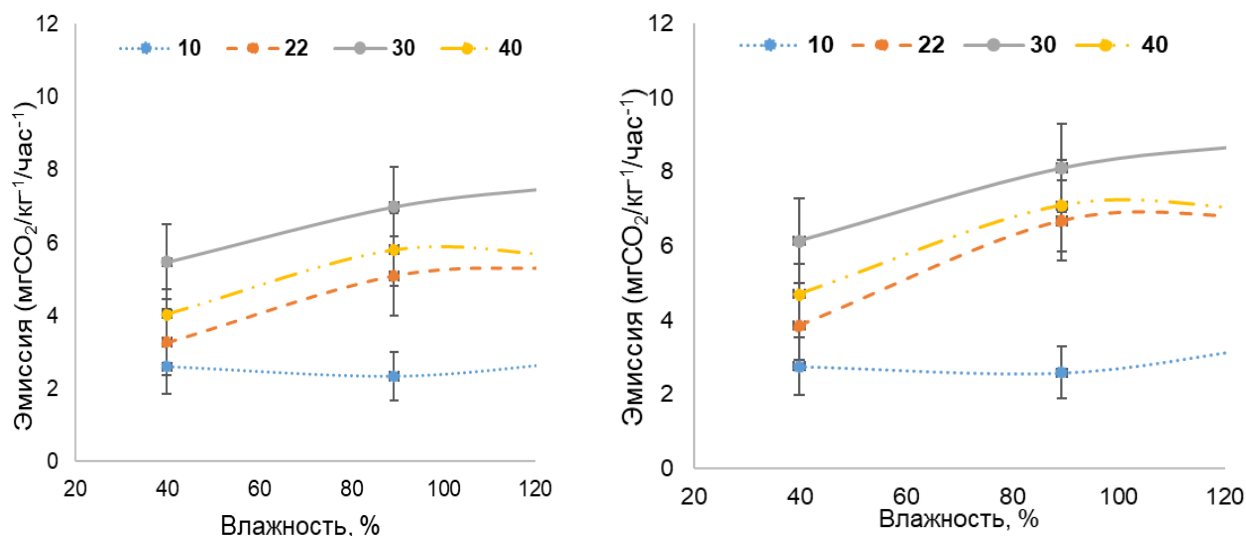


Рис. 3. Зависимость потенциальной микробной эмиссии CO<sub>2</sub> от температуры инкубации и влажности (усредненная для всех изученных субстратов) без термодесорбции (слева) и с термодесорбцией (справа)

### Заключение

1. Для четырех субстратов, наиболее часто используемых для создания почвенных конструкций в Москве, показан высокий разброс общего содержания углерода, и отдельных фракций – лабильного углерода и углерода микробной биомассы. Минимальные содержания общего, лабильного и микробного углерода показаны для ТПС, для него же показано максимально соотношение  $S_{мик}/C$  и  $X_{ЛОСУ}/C$ . Для всех субстратов показаны высокие значения  $C/N$  с максимальным значением для компоста.

2. Средняя микробная эмиссия CO<sub>2</sub> в исследуемых субстратах значительно различалась. Эмиссия CO<sub>2</sub>, показанная для ТЗС, в два раза превышала значения для низинного торфа и компоста и в четыре раза – для ТПС.

3. Для всех субстратов выявлена значимая линейная зависимость микробной эмиссии CO<sub>2</sub> от температуры ( $r^2$  от 0.5 до 0.9). Температурный коэффициент  $Q_{10}$  свидетельствует об увеличении эмиссии CO<sub>2</sub> в 1.5-2 раза при увеличении температуры на 10°C. Максимальный  $Q_{10}$  показан для низинного торфа, минимальный – для ТЗС.



Брянская И.П., Васенев В.И., Брыкова Р.А. Устойчивость органического вещества в почвогрунтах при различных гидрометрических условиях

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**

=====

Зависимость эмиссии CO<sub>2</sub> от влажности имеет нелинейный характер. Максимальная эмиссия показана при сочетании температуры 30°C и влажности от НВ до ПВ.

4. Потенциальная микробная эмиссия, показанная для трех из четырех изученных субстратов, значительно выше, чем для фоновых естественных почв. Повышение температуры ведет к ее дополнительному увеличению в среднем в 1.5-2.0 раза на каждые 10°C. Данное заключение позволяет предположить высокие риски дополнительной микробной эмиссии CO<sub>2</sub> почвенными конструкциями, созданными на основе низинного торфа и компоста, в особенности на фоне повышенных температур, связанных с проявлением эффекта городского острова тепла в Московском мегаполисе.

#### **Благодарность**

Химические свойства почвогрунтов исследованы при поддержке гранта РНФ № 17-77-200-46. Изучение температурной чувствительности микробной эмиссии CO<sub>2</sub> проведено при поддержке гранта РФФИ № 18-35-200-52.

#### **Список использованных источников**

1. Васенев В. И. и др. Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор) //Почвоведение. – 2018. – №. 10. – С. 1177-1191.
2. Волкова И. Экологическое почвоведение. – Litres, 2017.
3. Гамкало З. Г., Бедерничек Т. Ю. Лабильное органическое вещество почвы как индикатор ее экологического качества в разных условиях землепользования //Экосистемы. – 2014. – №. 10 (29).
4. ГОСТ Р. 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу А.Т. Кирсанова в модификации ЦИНАО //М.: Изд-во Стандартов. – 2013. – С. 11.
5. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
6. Добровольская Т. Г., Головченко А. В., Звягинцев Д. Г. Анализ экологических факторов, ограничивающих деструкцию верхового торфа //Почвоведение. – 2014. – №. 3. – С. 304-304.
7. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. Москва: Изд-во МГУ, 2012. 413 с.
8. 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.

9. Прокофьева Т. В. и др. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России //Почвоведение. – 2014. – №. 10. – С. 1155-1155.
10. Прохоров И. С. Мониторинг состояния почв города Москвы и предложения по их рекультивации //Почвоведение и агрохимия. – 2015. – №. 1. – С. 61-68.
11. Смагин А.В. Газовая фаза почв. – М.:Изд-во МГУ, 2005.
12. Смагин А. В. Фундаментальные модели изотерм сорбции паров воды почвами //Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – №. 3. – С. 16-28.
13. Смагин А. В. Теория и практика конструирования почв //АВ Смагин/Москва: Издательство Московского университета. – 2012.
14. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. 1997. Роль почв в городских экосистемах. Почвоведение. №1. С.96-101.
15. Ananyeva N. D. et al. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia //European Journal of Soil Biology. – 2008. – Т. 44. – №. 2. – С. 147-157.
16. Ananyeva, N.D., Castaldi, S., Stolnikova, E.V., Kudeyarov, V.N., Valentini, R. Fungi-to-bacteria ratio in soils of European Russia (2015) Archives of Agronomy and Soil Science, 61 (4), pp. 427-446.
17. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils //Soil biology and biochemistry. – 1978. – Т. 10. – №. 3. – С. 215-221.
18. EL III HEV ElementarAnalysensysteme GmbH. – 2017.
19. FAO. How to Feed the World in 2050. 2013. 2050(1). 35p.
20. Gao, X., Hu, Y., Sun, Q., Du, L., Duan, P., Yao, L. and Guo, S., 2018. Erosion-induced carbon losses and CO<sub>2</sub> emissions from Loess and Black soil in China. Catena, 171, pp.533-540.
21. Goncharova, O., Matyshak, G., Udovenko, M., Semenyuk, O., Epstein, H., Bobrik, A. Temporal dynamics, drivers, and components of soil respiration in urban forest ecosystems (2020) Catena, 185, № 104299.
22. Kwiatkowska-Malina J. Qualitative and quantitative soil organic matter estimation for sustainable soil management //Journal of soils and sediments. – 2018. – Т. 18. – №. 8. – С. 2801-2812.
23. Morel J. L., Chenu C., Lorenz K. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs) //Journal of Soils and Sediments. – 2015. – Т. 15. – №. 8. – С. 1659-1666.
24. Oke t. r. city size and urban heat island //bulletin of the american meteorological society. – 45 beacon st, boston, ma 02108-3693 :amer meteorological SOC, 1972. – т. 53. – №. 7. – с. 713-&2812.
25. Pickett S. T. A. et al. Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress //Journal of environmental management. – 2011. – Т. 92. – №. 3. – С. 331-362.
26. Rennert T., Ghong N. P., Rinklebe J. Permanganate-oxidizable soil organic matter in floodplain soils //Catena. – 2017. – Т. 149. – С. 381-384.

Брянская И.П., Васенев В.И., Брыкова Р.А. Устойчивость органического вещества в  
почвогрунтах при различных гидрометрических условиях

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**

=====  
27. Reth, S., Reichstein, M. & Falge, E. The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO<sub>2</sub> efflux – A modified model. *Plant Soil* **268**, 21–33 (2005). <https://doi.org/10.1007/s11104-005-0175-5>.

28. Sharma RC, Tateishi R, Hara K, Gharechelou S, Iizuka K (2016) Global mapping of urban built-up areas of year 2014 by combining MODIS multispectral data with VIIRS nighttime light data. *International Journal of Digital Earth*, 9, 1004–1020.

29. Sun, Q., Fang, H.-L., Liang, J., Qian, X.-W., Liu, M.-D., Zhang, Q.-F., Hao, R.-J., Hao, G.-J. Soil respiration characteristics of typical urban lawns in Shanghai (2009) *Chinese Journal of Ecology*, 28 (8), pp. 1572-1578.

30. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). *The World's Cities in 2018*. [https://www.un.org/en/events/citiesday/assets/pdf/the\\_worlds\\_cities\\_in\\_2018\\_data\\_bbookle.pdf](https://www.un.org/en/events/citiesday/assets/pdf/the_worlds_cities_in_2018_data_bbookle.pdf). Accessed 05 November 2019.

31. Varentsov, M., Wouters, H., Platonov, V., Konstantinov, P. Megacity-induced mesoclimatic effects in the lower atmosphere: A modeling study for multiple summers over Moscow, Russia (2018) *Atmosphere*, 9 (2), статья № 50.

32. Vasenev V.I., Smagin A.V., Ananyeva N.D., Ivashchenko K.V., Gavrilenko E.G., Prokofeva T.V., Patlseva A., Stoorvogel J.J., Gosse D.D., Valentini R. Urban Soil's Functions: Monitoring Assessment and Management. 2017. P. 359-409.

=====  
**Цитирование:**

Брянская И.П., Васенев В.И., Брыкова Р.А.. Устойчивость органического вещества в почвогрунтах при различных гидрометрических условиях // *АгроЭкоИнфо*. – 2020 №2. - [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/2/st\\_207.pdf](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/2/st_207.pdf).