



УДК 630\*181

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.187

## БИОДЕГРАДАЦИЯ ГУМУСА

*М.Г. Романовский<sup>1</sup>, д-р биол. наук*

*В.В. Коровин<sup>2</sup>, д-р биол. наук, проф.*

*Р.В. Щекалев<sup>3</sup>, канд. биол. наук*

<sup>1</sup>Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., Россия, 143030; e-mail: michrom@mail.ru, schekalevrv@yandex.ru

<sup>2</sup>Московский государственный университет леса, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи-5, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: vladimir.v.korovin@gmail.com

Анализ литературных данных и наблюдений авторов в Шиповом и Теллермановском лесостепных лесных массивах указывает на постепенное уменьшение мощности плодородных лесных темно-серых почв лесных и аграрных черноземов. В «древних» богатых почвах слой гумуса, достигнув определенного возраста, начинает разрушаться. Мощность гумусо-аккумулятивного горизонта почв ограничена сверху. Используются оценки мощности и возраста почв, погребенных под курганными сооружениями и насыпями. В течение XX–XXI вв. мощность гумусо-аккумулятивного горизонта богатых почв Европейской России сокращается. Радиоуглеродный возраст наиболее древних фракций гумуса уменьшается, что свидетельствует об исчезновении этих фракций. Обсуждаются гипотезы непрерывного накопления (убывания) гумуса. Предположительно, тяжелые гуматные фракции гумуса, свойственные наиболее плодородным почвам, уничтожаются почвенными археями, более легкие фульватные фракции, свойственные молодым и мало-продуктивным почвам, сохраняются. Сигналом к началу деструкции гумуса служит высокая концентрация в почвах гуматного гумуса. Для накопления гумуса до «пределных» концентраций требуется примерно 150...180 тыс. лет. Старт деструкции происходит менее чем за 10...20 лет. Начало процессов деструкции и сокращения аккумулятивного горизонта плодородных почв относится к 90-м гг. XIX в. Математическое моделирование, выполненное по материалам наблюдений за концентрацией гумуса в Центрально-Черноземном заповеднике им. В.В. Алехина, показало, что рассматриваемый процесс деструкции занимает около 200 лет и сопровождается сопряженным обогащением атмосферы оксидами углерода (CO<sub>2</sub>) и азота (N<sub>2</sub>O). Деструкция гумуса в почвах Северного полушария позволяет выявить основной, независимый от антропогенного, источник наблюдаемых изменений состава атмосферы.

*Ключевые слова:* древние почвы, гуматный гумус, деструкция гумуса, Шипов и Теллермановский лесостепные массивы.

---

*Для цитирования:* Романовский М.Г., Коровин В.В., Щекалев Р.В. Биодegradация гумуса // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 187–196. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.187

Для нас стало открытием запоздалое знакомство с книгой «Возраст и эволюция черноземов», вышедшей еще накануне распада СССР, в 1988 г. Эта книга – глубокое и оригинальное размышление об истории черноземов, о различиях между темно-серыми лесными почвами и степными черноземами на уровне обобщений конца XX в. [11, 15].

В библиотеке Института лесоведения РАН до 2011 г. книгу, судя по «незапятнанной» библиотечной карточке, никто так и не посмотрел. Между тем, она содержит единственную и достаточно полную сводку по профилям почв, погребенных под насыпными сооружениями. Насколько нам известно, до Н.Я. Марголиной с соавт. [9] никто в России не пытался обобщить разрозненные наблюдения за деградацией гумуса в погребенных почвах, прежде всего под курганами возрастом 1,5...4,5 тыс. лет.

Идет ли непрерывное сокращение «черного», аккумулятивного, гумусированного горизонта в профилях почв? Возможно, этого мы просто не видим из-за постоянного пополнения запасов гумуса корневым опадом [1, 2], а замечаем только в почвах, похороненных под насыпными сооружениями, валами, курганами и др.? Или же «таяние» гумуса началось в какой-то достаточно узкий и определенный отрезок времени? Когда начался этот процесс, не известно: то ли ориентироваться на дату захоронения, то ли, как мы предполагаем, это примерно 1890 г. [12]. После захоронения гумусовые пленки на поверхностях почвенных отдельностей, подов больше не пополняются, а почвенные микроорганизмы (вероятно, археи [19]), начав процесс разрушения, продолжают еще работать.

Но можно также предположить, как это сделали авторы упомянутой книги [9], что захоронение не изменило мощность гумусированного профиля почвы. В погребенных почвах был просто остановлен непрерывный рост аккумулятивных горизонтов черноземов, которые в окружающих «дневных» почвах продолжали расти. Захороненные почвы зафиксировали ту мощность гумусированного горизонта, которую они имели на момент захоронения. В результате они отстали от почв окружающих ландшафтов, увеличивавших мощность чернозема. В книге [9] есть ссылка на работу, опубликованную в 1914 г. [7], полевая часть которой была выполнена в 1912–1913 гг. Сокращался ли в то время почвенный профиль под курганами? Нет, так как А.Н. Криштофович не обнаружил заметного уменьшения мощности гумусо-аккумулятивного горизонта. Наоборот, под курганом слабо гумусированные почвогрунты простирались на большую, чем в фоновых условиях, глубину, свидетельствуя, возможно, об особой предыстории места отсыпки кургана. Заметная деградация гумуса отмечена только в поверхностных (0...65 см) слоях почвенного профиля, где содержание гумуса уменьшилось на 40 %. Ниже, на глубине 65...90 см, снижение составило 20...25 %. Еще ниже, на глубине 95...120 см, содержание гумуса возросло.

Для того, чтобы изменения мощности гумусированных горизонтов можно было заметить невооруженным глазом, требуется, чтобы содержание

гумуса в суглинистых почвах упало ниже 0,8 %. Горизонты с содержанием гумуса  $\leq 0,8$  % [16] уже не воспринимаются как выделяющиеся по цвету среди подстилающей почвообразующей породы. Если исходить из этого, мощность гумусо-аккумулятивного горизонта почвы как под курганами, так и в профилях фоновых почв в начале XX в. была примерно одинакова и составляла 95 см [7].

Профили, выбранные А.Н. Криштофовичем для сравнения, не вполне соответствуют почвам, окружающим курган: в «пахотном» горизонте почв вблизи кургана всего лишь 5,8 % гумуса, в «контрольных» черноземах – 6,5 %. Автор [7] для сравнения выбрал почвы соседних сельхозугодий, по которым уже имелись данные о содержании гумуса. Несмотря на различия гумусовых профилей в «опыте» и в «контроле», незначительность деструкции гумуса в глубоких слоях профиля (ниже 95 см) представляется очевидной. Таким образом, за 3...4 тыс. лет захоронения мощность почвенного профиля черноземов Харьковской губернии к началу XX в. существенно не изменилась. Преобладало разрушение гумуса в верхней части погребенного профиля (табл. 1).

Таблица 1  
 $^{14}\text{C}$  оценки возраста (тыс. лет) гуминовых фракций гумуса [9]

Горизонт	Дневная почва	Длительность погребения	Возраст	
			ожидаемый	фактический
Поверхность	1,00±0,04	~3,5	4,50	4,44±0,07
Глубина 50...60 см	4,05±0,06	~3,5	7,55	5,10±0,04

Мы предполагаем, что сокращение мощности черноземов началось только в XX в. и происходило в течение ~80 лет, предшествовавших обобщениям Н.Я. Марголиной [9].

Анализируя работы Е.А. Афанасьевой, характеризующие гумусовое состояние черноземов под лесными и степными угодьями в Стрелецкой степи (Курская область) в начале 1950-х гг., находим нижнюю границу гумусированного горизонта, выделяемую визуально, в типичных черноземах на глубине 120 см, в черноземных почвах под лесом – 110 см [1, 2]. Там же в 1980-х гг. Н.Я. Марголина с соавт. [9] зафиксировали мощность гумусового профиля погребенных почв – 50...60 см. Не вполне понятно, связано ли это с реальным сокращением профиля или с необходимостью взятия образцов чернозема с минимальной концентрацией углерода, позволяющей провести  $^{14}\text{C}$ -датирование почвенного гуматного гумуса. Подкурганый профиль окрашенных горизонтов сократился на 35 см относительно дневных почв. Приняв для мощности подкурганых почв 50...60 см и добавив к ней 35 см, получим мощность «прогумусированных» горизонтов черноземов Стрелецкой степи к 1980 г. Мощность черноземов составляла в это время ~95 см. Примерно за

30 лет, с 1950 г. по 1980 г., мощность «дневного» профиля сократилась на ~25 см. По представлениям авторов книги [9], мощность прогумусированных горизонтов с 1950 г. по 1980 г. напротив должна возрасти только на 3 см. Окружающие почвы прирастали примерно по 0,11 мм/год. За 3,5 тыс. лет накопилась разность почти в 40 см между мощностью погребенного под курганом и дневного профилей в Стрелецкой степи из-за роста мощности окружающих дневных черноземов. По нашим представлениям, погребенные почвы после 1890 г. «сгорали» примерно по 4,5 мм/год.

Необходимо отметить еще одно противоречие наших концепций [14] и концепций авторов [9]. По нашим убеждениям, черноземные почвы растут вверх за счет накопления эоловых осадков на поверхности водоразделов и формирования равномерного слоя покровных лёссовидных суглинков [2]. Этим же воззрением придерживался И.П. Герасимов [3]. По мнению Н.Я. Марголиной [9], почвы растут вниз, прогумусированная часть почвенного профиля удлиняется за счет превращения в гумус нового корневого опада, при этом высота поверхности почвы остается неизменной. Рост почвенного профиля вниз требует голоценового возраста черноземов (10 тыс. лет) и высокой скорости увеличения их мощности. Рост вверх сопряжен с оценкой возраста черноземов в 150...180 тыс. лет и на порядок более медленным ростом мощности почвенного профиля. Актуальное приращение высоты поверхности водоразделов не превышает ~0,007 мм/год [4, 12, 16].

В сводке, приведенной в [9], можно найти случаи различной мощности сопоставляемых гумусовых профилей независимо от возраста захоронения. Наиболее интересен случай сокращения гумусированной (черной) части почвы на 40 см за время захоронения в течение всего лишь 800 лет под насыпным валом г. Тулы. Если рассматривать весь массив данных о погребенных почвах, собранных авторами [9], то связь между возрастом погребения и сокращением гумусированного слоя перестает быть очевидной. Мы предлагаем другое объяснение: различия в мощности погребенных и дневных почв нарастают благодаря преимущественному сгоранию в подошвенном слое погребенной почвы наиболее древних компонентов гумуса. Концентрация гумуса в нижних слоях погребенных почв снижается до значений, не воспринимаемых глазом.

Параллельно наблюдаемому росту различий мощности гумусированного слоя в погребенных и дневных почвах изменяется и возраст горизонтов почвенного профиля. За 3,5 тыс. лет существования курганной насыпи, избранной авторами для подробного анализа [9], возраст гумуса в поверхностных горизонтах почвы увеличился в полном соответствии со временем захоронения почвы  $1,0 + 3,5 \approx 4,5$  тыс. лет. Возраст поверхностного слоя почвы перед погребением был такой же, как у окружающих черноземов, и такой же, как и у современной дневной почвы – 1 тыс. лет. За время захоронения он увеличился на 3,5 тыс. лет. В подошвенных слоях почвенного профиля подобного изменения не произошло (табл. 1).

Сокращение мощности почвенного профиля за счет разрушения наиболее древнего гумуса позволяет непротиворечиво объяснить наблюдаемые изменения возраста самых нижних (подошвенных) слоев профиля. Возраст подошвенного гумуса уменьшается параллельно снижению мощности гумусового горизонта. «Сгорание» гумуса имеет строгие временные рамки, только в XX в. подошва почвенного профиля черноземов стала приближаться к поверхности почвенного профиля.

По мере разворачивания истории биогеоценоза и старения гелевых пленок [16, 17], покрывающих педы, возрастают их сплошность, толщина и присутствие в составе бактериальных ферментов [5]. Первичная гипотеза предполагала, что со временем гелевые пленки на разделах почвенных фаз приобретают некий полный комплект ферментов и начинают самоуничтожаться [12]. Но, вероятнее всего, деструкция гумуса – не автокаталитическая реакция, а результат активации почвенных архей [19], «дремавших» до момента приобретения гелевыми пленками гумуса определенной сплошности и биохимической структуры.

С «древностью» почв [6] и скоростью потери ими органического углерода связана насыщенность почв гуминовыми кислотами. На схеме Д.С. Орлова с соавторами [11] граница распространения гуминовых составляющих гумуса совпадает с границей древнего «домосковского» почвообразования. Степные черноземы и темно-серые лесные почвы не идут на север далее границ распространения Московского покровного оледенения. В древних почвах соотношение масс гуматных и фульватных гуминовых кислот  $\geq 1$  [1, 11].

Обогащение атмосферы избыточным углеродом ( $\text{CO}_2$ ) в первую очередь за счет деструкции почвенного гуматного гумуса [13], насыщенного азотом, хорошо объясняет высокий уровень корреляции концентраций углерода и азота в составе атмосферных газов, заключенных в колонки фирна из ледников Антарктиды после 1890 г. [18].

Какова скорость деструкции гумуса и какие потоки С-содержащих газов поступают в атмосферу из древних почв? В целом по всему почвенному профилю потери гумуса, связанные с его деструкцией в древних почвах, оцениваются нами [12] примерно в 2 т С/га за год. Какое же время древние почвы смогут обеспечивать столь интенсивное поступление С-содержащих газов в атмосферу? Примерная имитационная модель этого процесса, основанная на данных, полученных для мощных моренных суглинков Теллермановского опытного лесничества Института леса АН России с древними темно-серыми лесными почвами на их поверхности [13], представлена в табл. 2, где приведены максимальные и минимальные значения запасов гуматного и фульватного гумуса для наиболее и наименее продуктивных нагорных лесных биогеоценозов V и I классов бонитета. Соотношение гуматного и фульватного гумуса по состоянию на 1980–1990 гг. принято равным 1:1.

Таблица 2

**Запасы углерода (т С/га) в суглинках нагорных зональных широколиственных лесов и их деструкция в XX–XXI вв.**

Слой	Год	Гумус гуматный (Г <sub>г</sub> )	Гумус фульватный (Г <sub>ф</sub> )	Г <sub>г</sub> + Г <sub>ф</sub>
0...10 м	1900	200...320	140	340...460
	1980	100...160	140	240...300
	2010	0...100	140	140...240
	к 2050	0...20	140	140...160
В том числе 0...1 м	1900	90...160	100	190...260
	1980	10...80	100	110...180
	2010	0...50	100	100...150
	к 2050	0...10	100	100...110

Примечание. Оценочные данные о запасах С-гумуса приведены в соответствии с работой [16].

К этому времени относятся исследования Н.Я. Марголиной [9], в эти же годы собраны основные данные, послужившие фактической базой для сводки Д.С. Орлова [11].

Имитационная модель показывает, что запасов гуматного гумуса древних почв хватит примерно до середины XXI в. Затем эмиссия углерода из древних почв сократится и постепенно прервется. Археи, съев гуматные компоненты, перейдут на другие субстраты и будут дожидаться следующей порции полноценно укомплектованного почвенного гумуса. Оценки лишь приближенно отражают запасы гумуса и скорость их деструкции, однако они не противоречат известным классическим определениям. Реальные значения, вероятно, несколько выше [8]. По Е.А. Афанасьевой [1, 2], в Стрелецкой степи (Центрально-черноземный заповедник им. В.В. Алехина) в 1950-х гг. запас гумуса в слое 0...1 м достигал 570 т/га, что в пересчете на углерод составляло 330 т С/га [2, табл. 17]. Под лесными угодьями (дубравы «паркового типа») слой почвы 0...1 м содержал 433 т/га гумуса, или ~240...250 т С/га [1]. Растянутость гумусового профиля под дубравами свидетельствует о возможном простираннии гумусированных горизонтов до глубины 10...12 м, до уровня капиллярной каймы грунтовых вод, и возможном существенном уменьшении запаса поглощающих корней дуба и запаса С-гумуса под «лесом».

Новую волну деструкции гумуса в почвах, начало истории которых относится к периоду следующего (Микулинского) интерстадиала, можно ожидать примерно через 40...70 тыс. лет. Современное «дыхание» микулинских почв значительно уступает дыханию домосковских темно-серых и черноземных почв [8]. Молодые голоценовые почвы вообще не эмитируют, но аккумулируют углерод. По сводке А.В. Наумова [10] дыхание почв тесно согласуется с их возрастом и широтой, т. е. с возрастом и приходящим потоком солнечной энергии.

Если примем прирост биомассы архей равным 0,25 углерода, тогда величина перерабатываемой ими массы гумусовых веществ составит около 0,4...0,6 т С/га в год [12, 13, 16]. Работа архей по «сжиганию» гумуса завершает цикл развития биогеоценоза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Стрелецкой степи (путеводитель). Первый делегатский съезд почвоведов. М.: АН СССР, 1958. 18 с.
2. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
3. *Герасимов И.П.* Абсолютный и относительный возраст почв // Почвоведение. 1969. № 5. С. 27–32
4. *Глухова Т.В.* Влияние атмосферных осадков и пыли на питание болот // Экол. химия. 1995. № 4(4). С. 282–287.
5. *Загуральская Л.М.* Динамика микробиологических параметров минерализации органического вещества в почвах сосновых лесов Карелии // Лесоведение. 2000. № 2. С. 8–13.
6. *Костычев П.А.* Почвы черноземной области России, их происхождение и свойства. М.: Сельскохозяйств, 1949. 240 с.
7. *Криштофович А.Н.* Исследование почвы под курганами в Харьковской губернии // Почвоведение. 1914. № 1-2. С. 33–45.
8. *Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Розанова Л.Н., Мякина Т.Л., Сапронов Д.В., Кудяров В.Н.* Многолетний мониторинг эмиссии CO<sub>2</sub> из дерново-подзолистой почвы: анализ влияния гидротермических условий и землепользования // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 21. СПб.: Гидрометеоздат, 2007. С. 23–43.
9. *Марголина Н.Я., Александровский А.Л., Ильичев Б.А., Черкинский А.Е., О.А. Чичагова А.Е.* Возраст и эволюция черноземов. М.: Наука, 1988. 144 с.
10. *Наумов А.В.* Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: СО РАН, 2009. 208 с.
11. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.* Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
12. *Романовский М.Г.* Углерод древних почв – источник эмиссии С в атмосферу // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 7(90). С. 67–72.
13. *Романовский М.Г., Мамаев В.В., Селочник Н.Н., Гопиус Ю.А., Жиренко Н.Г., Кондрашова Н.К., Рубцов В.В., Уткина И.А.* Экосистемы Теллермановского леса / под ред. В.В. Осипова. М.: Наука, 2004. 340 с.
14. *Романовский М.Г., Судницына Т.Н.* Моделирование возраста лесных темно-серых почв на водоразделах среднерусской лесостепи // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 2007. Т. 21. С. 223–231.
15. *Таргульян В.О., Соколова Т.А.* Почва как биокосная природная система: «реактор», «память» и регулятор биосферных взаимодействий // Почвоведение. 1996. № 1. С. 37–41.

16. Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф., Шалаев В.С. Влияние поверхностно-активных веществ на свойства почв // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 7(90). С. 36–45.

17. Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Путляев В.И., Иткис Д.М. Исследование наноструктурной организации почвенных гелей // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2010. № 3. С. 212–222.

18. Battle M., Bender M., Sowers T., Tans P.P., Butler J.H., Elkins J.W., Ellis J.T., Conway T., Zhang N., Lang P., Clarke A.D. Atmospheric Gas Concentrations Over the Past Century Measured in Air from Firm at the South Pole // Nature. 1996. No. 383(6597). Pp. 231–235.

19. Woese C.R., Kandler O., Wheelis M.L. Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria and Eucarya // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1990. Vol. 87. Pp. 4576–4579.

Поступила 17.01.17

UDC 630\*181

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.187

### **Humus Biodegradation**

*M.G. Romanovskiy<sup>1</sup>, Doctor of Biological Sciences*

*V.V. Korovin<sup>2</sup>, Doctor of Biological Sciences, Professor*

*R.V. Shchekalev<sup>1</sup>, Candidate of Biological Sciences*

<sup>1</sup>Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences, ul. Sovetskaya, 21, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation; e-mail: michrom@mail.ru, schekalevrv@yandex.ru

<sup>2</sup>Moscow State Forest University, 1-ya Institutskaya ul., 1, Mytishchi-5, Moscow region, 141005, Russian Federation; e-mail: vladimir.v.korovin@gmail.com

The analysis of the literature data and authors' observations in the Shipov and Tellerman forest-steppe woodlands indicates a gradual decrease in the thickness of the fertile forest dark-gray soils of forest and agrarian chernozems. In the "ancient" rich soils the humus layer, having reached a certain age, begins to deteriorate. The thickness of the humus-accumulative horizon of soils is bounded above. We have used the estimates of the thickness and age of the soils buried beneath the mound structures and earth fills. During the 20–21st centuries the thickness of the humus-accumulative horizon of the rich soils of European Russia is declining. The radiocarbon age of the most ancient humus fractions decreases, which indicates the disappearance of these fractions. We discuss the hypotheses of continuous humus accumulation (decrease). Presumably, the heavy humate fractions of humus, characteristic of the most fertile soils, are destroyed by soil archaea; the lighter fulvate fractions, peculiar to young and low-productive soils, are preserved. The signal for the onset of humus degradation is the high concentration of humate humus in soils. Approximately 150...180 thousand years are required to accumulate humus up to the

---

*For citation:* Romanovskiy M.G., Korovin V.V., Shchekalev R.V. Humus Biodegradation. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 187–196. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.187



maximum concentrations. The period of the destruction onset lasts less than 10...20 years. The beginning of the destruction and reduction processes of the accumulative horizon of fertile soils belongs to the 90's of the 19th century. Mathematical modeling, based on observations over the concentration of humus in the V.V. Alekhin Central Chernozem Reserve, demonstrates that the process of destruction takes about 200 years and will be accompanied by a conjugate enrichment of the atmosphere with carbon dioxides (CO<sub>2</sub>) and nitrogen oxides (N<sub>2</sub>O). The humus destruction in the soils of the Northern Hemisphere reveals the main source of observed changes in the composition of the atmosphere, independent of the anthropogenic one.

*Keywords:* ancient soil, humate humus, humus degradation, Shipov and Tellerman forest-steppe woodlands.

#### REFERENCES

1. Afanas'eva E.A. Chernozemy Streletskoy stepi (putevoditel') [Chernozems of the Strelets Steppe]. *Pervyy delegatskiy s"ezd pochvovedov* [The 1st Delegate Congress of Soil Scientists]. Moscow, 1958. 18 p.
2. Afanas'eva E.A. *Chernozemy Sredne-Russkoy vozvysheynosti* [Chernozems of the Middle Russian Upland]. Moscow, 1966. 224 p.
3. Gerasimov I.P. Absolyutnyy i otnositel'nyy vozrast pochv [Absolute and Relative Age of Soils]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1969, no. 5, pp. 27–32.
4. Glukhova T.V. Vliyaniye atmosferykh osadkov i pyli na pitaniye bolot [Influence of Atmospheric Precipitation and Dust on the Feeding of Wetlands]. *Ekologicheskaya khimiya*, 1995, no. 4(4), pp. 282–287.
5. Zagural'skaya L.M. Dinamika mikrobiologicheskikh parametrov mineralizatsii veshchestva v pochvakh osnovnykh lesov Karelii [Dynamics of Microbiological Parameters of Matter Mineralization in Soils of Pine Forests of Karelia]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2000, no. 2, pp. 8–13.
6. Kostychev P.A. *Pochvy chernozemnoy oblasti Rossii, ikh proiskhozhdeniye i svoystva* [Soils of the Chernozem Region of Russia, Their Origin and Properties]. Moscow, 1949. 240 p.
7. Krishtofovich A.N. Issledovaniye pochvy pod kurganami v Khar'kovskoy gubernii [Study of the Soil under the Mounds in the Kharkov Province]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1914, no. 1-2, pp. 33–45.
8. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Rozanova L.N., Myakshina T.L., Sapronov D.V., Kudiyarov V.N. Mnogoletniy monitoring emissii SO<sub>2</sub> iz dernovo-podzolistoy pochvy: analiz vliyaniya gidrotermicheskikh usloviy i zemlepol'zovaniya [Long-Term Monitoring of CO<sub>2</sub> Emission from Sod-Podzolic Soils: Influence Analysis of Hydrothermal Conditions and Land Use]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. T. 21* [Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems. Vol. 21]. Saint Petersburg, 2007, pp. 23–43.
9. Margolina N.Ya., Aleksandrovskiy A.L., Il'ichev B.A., Cherkinskiy A.E., Chichagova O.A. *Vozrast i evolyutsiya chernozemov* [Age and Evolution of Chernozems]. Moscow, 1988. 144 p.
10. Naumov A.V. *Dykhaniye pochvy: sostavlyayushchie, ekologicheskie funktsii, geograficheskie zakonomernosti* [Breath of the Soil: Components, Ecological Functions, Geographical Patterns]. Novosibirsk, 2009. 208 p.

11. Orlov D.S., Biryukova O.N., Sukhanova N.I. *Organicheskoe veshchestvo pochv Rossiyskoy Federatsii* [Organic Matter of Soils of the Russian Federation]. Moscow, 1996. 256 p.
12. Romanovskiy M.G. Uglerod drevnikh pochv – istochnik emissii C v atmosferu [The Carbon of Ancient Soils – the Source of C Emission into Atmosphere]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 7(90), pp. 67–72.
13. Romanovskiy M.G., Mamaev V.V., Selochnik N.N., Gopius Yu.A., Zhirenko N.G., Kondrashova N.K., Rubtsov V.V., Utkina I.A. *Ekosistemy Tellermanovskogo lesa* [Ecosystems of the Tellerman Forest]. Ed. by V.V. Osipov. Moscow, 2004. 340 p.
14. Romanovskiy M.G., Sudnitsyna T.N. Modelirovanie vozrasta lesnykh temno-serykh pochv na vodorazdelakh srednerusskoy lesostepi [Age Modeling of Forest Dark Gray Soils on the Watersheds of the Central Russian Forest-Steppe]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. T. 21* [Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems. Vol. 21]. Saint Petersburg, 2007, pp. 223–231.
15. Targul'yan V.O., Sokolova T.A. Pochva kak biokosnaya prirodnyaya sistema: “reactor”, “pamyat” i regulyator biosfernykh vzaimodeystviy [Soil as a Biotic / Abiotic Natural System: a Reactor, Memory, and Regulator of Biospheric Interactions]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1996, no. 1, pp. 37–41.
16. Fedotov G.N., Rudometkina T.F., Shalaev V.S. Vliyanie poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na svoystva pochv [Influence of Surface-Active Substances on Property of the Soils]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 7(90), pp. 36–45.
17. Fedotov G.N., Shalaev V.S., Putlyayev V.I., Itkis D.M. Issledovanie nanostrukturnoy organizatsii pochvennykh geley [Research of Nanostructural Organization of the Soil's Gels]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2010, no. 3, pp. 212–222.
18. Battle M., Bender M., Sowers T., Tans P.P., Butler J.H., Elkins J.W., Ellis J.T., Conway T., Zhang N., Lang P., Clarke A.D. Atmospheric Gas Concentrations Over the Past Century Measured in Air from Firn at the South Pole. *Nature*, 1996, no. 383(6597), pp. 231–235.
19. Woese C.R., Kandler O., Wheelis M.L. Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1990, vol. 87, pp. 4576–4579.

Received on January 17, 2017