

УДК 556.51: 631.459: 631.433.3

А.Ю. Сидорчук<sup>1</sup>**НАМЫТЫЕ ПОЧВЫ И ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В БАССЕЙНЕ р. ДОН**

Предложен алгоритм расчета количества почвенного материала, смытого с пашни за период интенсивного землепользования (за последние 300 лет) в результате антропогенной ускоренной эрозии, связанного с этим смывом накопления органического углерода в переотложенном материале и современного потока углекислого газа из этого пула углерода. Расчеты базируются на данных о современной интенсивности эрозии в речном бассейне и содержании органического вещества в почвах, приведенных к периоду интенсивного землепользования с помощью зависящих от времени поправок к факторам эрозии (изменению климата, состоянию почв и землепользования). Расчеты для бассейна р. Дон (425 000 км<sup>2</sup>) показывают, что за 300 лет с пашни было смыто около 16,9·10<sup>9</sup> т почвы и с ней 0,41·10<sup>9</sup> т органического углерода. 95% этого материала аккумулировалось в днищах балок и суходолов на площади 12 900 км<sup>2</sup>, образуя слой намытых почв (стратоземов) со средней мощностью 0,9–1,0 м. Нижняя часть профиля этих намытых почв (глубже 0,24–0,45 м) отнесена к погребенным почвам, так как здесь практически не происходит обновления органического углерода. Органическое вещество погребенных почв подвергалось минерализации, и его содержание уменьшалось во времени. Рассчитанная современная некомпенсированная эмиссия углерода (в виде CO<sub>2</sub>) из погребенных за период интенсивного землепользования почв составляет в бассейне р. Дон 1,6–2,1 т/км<sup>2</sup> в год. Это составляет около 0,5–0,75% микробного дыхания современных почв степной зоны России. Показано, что несмотря на довольно значительное количество органического углерода, погребенного в намытых почвах, современный поток углекислого газа из этого пула углерода, сформированного в результате ускоренных при интенсивном землепользовании эрозионно-аккумулятивных процессов, не оказывает существенного влияния на баланс CO<sub>2</sub> в атмосфере и может не учитываться в сценариях антропогенного изменения климата.

*Ключевые слова:* период интенсивного землепользования, эрозия почв, стратоземы, минерализация органического углерода.

**Введение.** На южном мегасклоне Восточно-Европейской равнины происходит масштабная аккумуляция смытых со склонов наносов как в верхних частях речных долин [Сидорчук, 1995], так и на поймах малых и средних рек [Sidorchuk, 2003]. Эти процессы определяются, во-первых, ускоренной эрозией на сельскохозяйственных землях, во-вторых, недостаточной транспортирующей способностью потоков в верхних звеньях речной сети и слабой сопряженностью склоновой и долинной частей эрозионно-руслых систем. В результате в бассейнах рек Волги, Дона и Днепра за последние 50–300 лет интенсивного земледелия со склонов было смыто около 80 млрд т материала плодородных почв, и более 95% этого количества аккумулировалось в эрозионно-руслых системах. В этих отложениях накапливались органические вещества почв [Геннадиев с соавт., 2010]. Их минерализация приводит к эмиссии углекислого газа. Таким образом, наряду с потерей почвенного плодородия, эрозионно-аккумулятивные процессы ведут к формированию дополнительного пула углерода и источника углекислого газа в отложениях речных долин. Эти процессы наиболее активно происходят в поясе черноземных почв и будут рассмотрены на примере бассейна р. Дон (площадь 425 000 км<sup>2</sup>).

**Материалы и методы исследований.** Смытый за период интенсивного землепользования почвенный материал, отложенный в речных долинах, обыч-

но сложно отличить от материала более древних намытых почв. Для этого требуются трудоемкие анализы, например, содержания в почвах радиоизотопов или магнитных трассеров [Геннадиев с соавт., 2005], а возраст отложений, выделяемых таким образом, не превосходит 140–160 лет. Поэтому для периода интенсивного землепользования более целесообразно рассчитать по модели эрозии объем смытого с полей почвенного материала и оценить ту его часть, которая аккумулировалась в речных долинах. Интенсивность почвенной эрозии для европейской части России рассчитана [Литвин, 2002] для условий 1980–85 гг. Используются адаптированные Г.А. Ларионовым [1993] модели для смыва почв талыми водами и для эрозии ливневыми осадками. Эти модели представляют собой комбинацию факторов эрозии, которые зависят от климата (количества осадков), свойств почв (структуры, гранулометрического состава, содержания гумуса с учетом дегумификации) и типа землепользования (площади и структуры пахотных земель, видов севооборота). Пересчет интенсивности смыва почв от условий 1980-х годов на весь период интенсивного землепользования в бассейне р. Дон (XVIII–XX вв.) осуществлялся внесением поправок в коэффициенты и факторы этих моделей [Сидорчук, 1995; Litvin et al., 2003; Sidorchuk et al., 2006]. Для бассейна р. Дон были составлены карты распределения основных входящих в модели факторов; их сочета-

<sup>1</sup> Московский государственный университет, географический факультет, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: fluvial05@gmail.com

ния дали более 2000 полигонов с разными последовательностями изменений каждого фактора эрозии. Слой осадков для периода 1700–1880 гг. оценивался по реконструкциям Слепцова, Клименко [2005], для периода 1880–2007 гг. – по данным 17-ти метеостанций в бассейне Дона с длительными сроками наблюдений [Klein Tank, 2001]. Типы почв определены по картам масштаба 1:2 500 000 для территорий РСФСР и УССР. Содержание органического углерода в пахотном горизонте (верхние 20–25 см) для целинных почв оценивалось по данным Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [2014]. Уменьшение содержания гумуса во времени за счет дегумификации почв оценивалось по данным Чендева с соавт. [2011], с дополнениями. Изменение площади пашни определялось по данным Цветкова [1957] для XVIII–XIX вв. и по справочникам сельского хозяйства СССР и Российской Федерации для XX–XXI вв. Рассчитано изменение во времени и по бассейну объема смытых почв и объема органического углерода, смытого с почвенным материалом в период 1700–2010 гг. Скорость потерь органического углерода в погребенных почвах в зависимости от времени погребения известна по почвенно-археологическим исследованиям [Иванов с соавт., 2009]. В результате путем умножения объема углерода, содержавшегося в почвенном материале во время его погребения, на скорость потерь углерода была оценена величина актуальной эмиссии углекислого газа из погребенных почв.

**Результаты исследований и их обсуждение.** На основе расчетов темпов эрозии в 1980–1985 гг. [Литвин, 2002] с помощью моделей эрозии, адаптированных Г.А. Ларионовым [1993] к условиям Восточно-Европейской равнины, в бассейне р. Дон выделяется 2 региона, граница между которыми проходит по долине основной реки. Западный регион охватывает водосборы правых притоков Дона – Красивой Мечи, Сосны и Северского Донца. Средняя скорость ежегодного смыва почв составляет здесь от 5 до 20 т/га. В восточном регионе, на водосборах левых притоков Дона – Хопра, Медведицы, Иловли, Сала и Маныча, – этот показатель не превышает 5 т/га. Здесь обширные площади занимают аллювиальные песчаные равнины с активными эоловыми процессами. На юго-востоке бассейна выделяется область повышенной скорости эрозии (до 10 т/га) в бассейне р. Егорлык. Интенсивность эрозии в среднем по всему бассейну составляет 3,3 т/га, или 6,3 т/га на площади пашни.

В общей структуре почвенного покрова бассейна р. Дон преобладают черноземы, на долю которых приходится 73,4% территории бассейна. Содержание ( $C$ ) органического углерода в верхних 20–25 см целинных черноземов составляет в среднем 3,9%, изменяясь для разных подтипов черноземов от 2,5 до 9,5%. Серые лесные почвы занимают 3,6% площади ( $C=3\%$ ), каштановые почвы – 9,3% ( $C=1,9\%$ ). На севере бассейна (например, в долине р. Воронеж) имеются дерново-подзолистые почвы, в основном на песчаном и супесчаном субстратах

(0,4% площади бассейна,  $C=1,9\%$ ), на юге – солончаки (0,06% площади бассейна,  $C=1,7\%$ ). Остальная площадь (в первую очередь, поймы основных рек) занята аллювиальными почвами (13,2% площади бассейна,  $C=3,4\%$ ). Типы почв сменяются как с севера на юг, так и с запада на восток. Так, обыкновенные черноземы на западе бассейна сменяются в средней его части южными черноземами, а на востоке – комплексами каштановых почв с солонцами. Среднее содержание органического углерода в верхних 25 см целинных почв бассейна р. Дон составляет 3,4%, то есть его количество в пахотном горизонте равно  $3,6 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>, или  $4,3 \cdot 10^9$  т (при плотности почв 1,2 т/м<sup>3</sup>).

В период интенсивного землепользования (1700–2010 гг.) факторы эрозии определялись климатом и характером землепользования. Климатические характеристики, в первую очередь, слой осадков, изменялись во времени волнообразно, причем максимумы и минимумы увлажненности были синхронными по всему бассейну. На основании обработки базы данных метеорологических элементов [Klein Tank, 2001] выделены периоды в целом повышенного увлажнения в 1704–1778, 1890–1935 гг. и после 1972 г., а в 1779–1889 и 1936–1971 гг. слой осадков был меньше среднего за период 1700–2010 гг. Диапазон изменения слоя осадков составлял  $\pm 20\%$  среднего (рис. 1).

Влияние землепользования на интенсивность эрозии почв определялось изменениями содержания гумуса в пахотном горизонте и площади пашни. Данные Чендева с соавт. [2011] об изменении содержания органического углерода  $C$  (%) в черноземах за время  $T$  (годы) при распашке целинных или залежных почв можно аппроксимировать следующей зависимостью:

$$C = C_0 - 0,157T^{0,32}. \quad (1)$$

Здесь  $C_0$  – начальное содержание органического углерода в пахотном горизонте. Размываемость почв увеличивается с уменьшением содержания гумуса, так что за 300 лет интенсивного землепользования размываемость почв в бассейне р. Дон увеличилась примерно на 30% (рис. 1).

Наибольшее влияние на суммарный смыв почв и органического углерода оказало изменение площади пашни в бассейне. До середины XIX в. распашка земель велась только в северной части бассейна Дона, которую медленно осваивали земледельцы. Большая часть территории, населенной казаками, была введена в сельскохозяйственный оборот только в 50-х годах XIX в., но интенсивность освоения была настолько высокой, что уже к концу XIX в. земли области Войска Донского были распаханы на 70–80% [Цветков, 1957]. В XX в. площадь пашни резко уменьшилась во время гражданской и Великой Отечественной войн и была восстановлена в 20–30-е и 50–80-е годы. В конце XX и в XXI вв. площадь пашни в бассейне Дона несколько уменьшилась за счет наиболее эродированных земель и неудобий. В целом для всего бассейна р. Дон из-

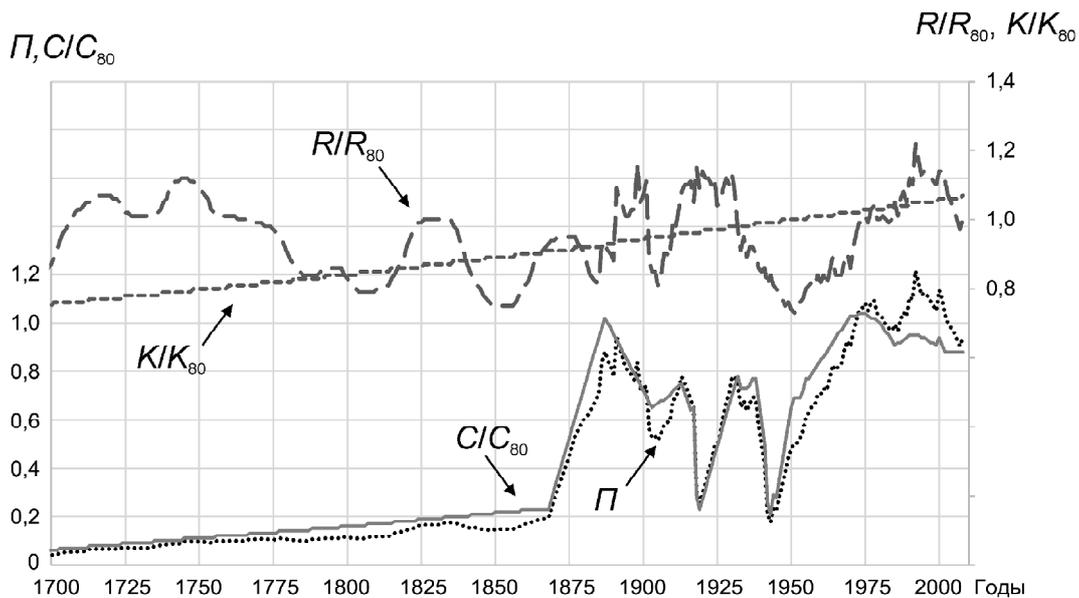


Рис. 1. Изменение во времени относительных (по отношению к 1980 г) значений факторов эрозии: климатического  $R/R_{80}$ , эродирруемости почв  $K/K_{80}$  и землепользования  $C/C_{80}$ , а также их произведения  $P$ , которое характеризует изменение во времени относительной интенсивности эрозии

Fig. 1. Change in time of the values of erosion factors (as compared with 1980): rainfall erosivity  $R/R_{80}$ , soil erodibility  $K/K_{80}$  and land use factor  $C/C_{80}$ , as well as their product  $P$ , which characterizes changes of relative soil erosion intensity in time

менчивость характеристик землепользования, в первую очередь, площади пашни, объясняет около 80% изменчивости величины эрозии почв, а изменчивость климатических факторов – только около 20% (рис. 1).

Расчеты показывают, что за период интенсивного землепользования с 1700 по 2010 гг. в бассейне р. Дон было смыто с пашни  $16,9 \cdot 10^9$  т почвенного материала, включая  $0,41 \cdot 10^9$  т органического углерода (рис. 2). Из них за первые 170 лет было смыто 16,3% почвы (по весу) и 21,5% органического углерода, а основная масса – за последующие 140 лет.

**Распределение смытого с пашни материала в эрозионно-русловой сети бассейна р. Дон.** Данные по стоку наносов в бассейне р. Дон обобщены для периода относительной стационарности рядов наблюдений для 105 гидрологических станций [Ресурсы поверхностных вод, 1967, 1970], в том числе на малых водосборах Нижнедевицкой стоковой станции и на Дубовской гидрометеобсерватории. Также имеются многочисленные наблюдения за заилением прудов и малых водохранилищ, которые использованы для оценки стока наносов [Прыткова, 1981]. Эти данные показывают, что коэффициент доставки наносов в водотоках (отношение транспорта наносов в данном створе к эрозии на водосборе) уменьшается с увеличением площади водосбора (рис. 3), в первую очередь, за счет аккумуляции наносов в долинно-балочной сети. Наиболее быстро такая аккумуляция происходит на днищах долин водотоков с площадью водосбора менее  $100 \text{ км}^2$ : здесь

оседает не менее 95% наносов, поступающих с вышележащих створов. Это водосборы балок и суходолов с заросшими широкими и плоскими днищами, где потоки воды во время половодий и паводков распластываются, а скорости течения становятся меньше критических скоростей начала оседания тонких наносов. В большом числе таких балок и суходолов сооружены каскады прудов, где наносы оседают особенно интенсивно.

По данным неопубликованной карты «Эрозионная опасность на территории СССР», подготовленной в Институте географии РАН<sup>2</sup> на основе анализа карт масштаба 1:100 000, густота долинно-балочной сети бассейна р. Дон составляет  $0,72 \text{ км}^2/\text{км}^2$ , то есть суммарная длина долинно-балочной сети – 305 300 км. Из них 59 000 км – это 1724 реки длиной не менее 10 км, 23 600 км – еще 7800 постоянных водотоков длиной менее 10 км каждый [Гидрологическая изученность, 1964]. Суммарная длина балок и суходолов составляет 222 700 км.

Количество балок и суходолов определенной длины можно оценить на основании данных о структуре эрозионно-русловой сети, которая хорошо описывается функцией повторяемость – магнитуда степенного вида:

$$\sum L = ML^{1-D}. \tag{2}$$

Здесь  $L$  – длина водотока,  $\sum L$  – сумма длин водотоков с длиной не менее  $L$ . Формула (2) соответ-

<sup>2</sup> Карта любезно предоставлена автору А.Н. Маккавеевым.

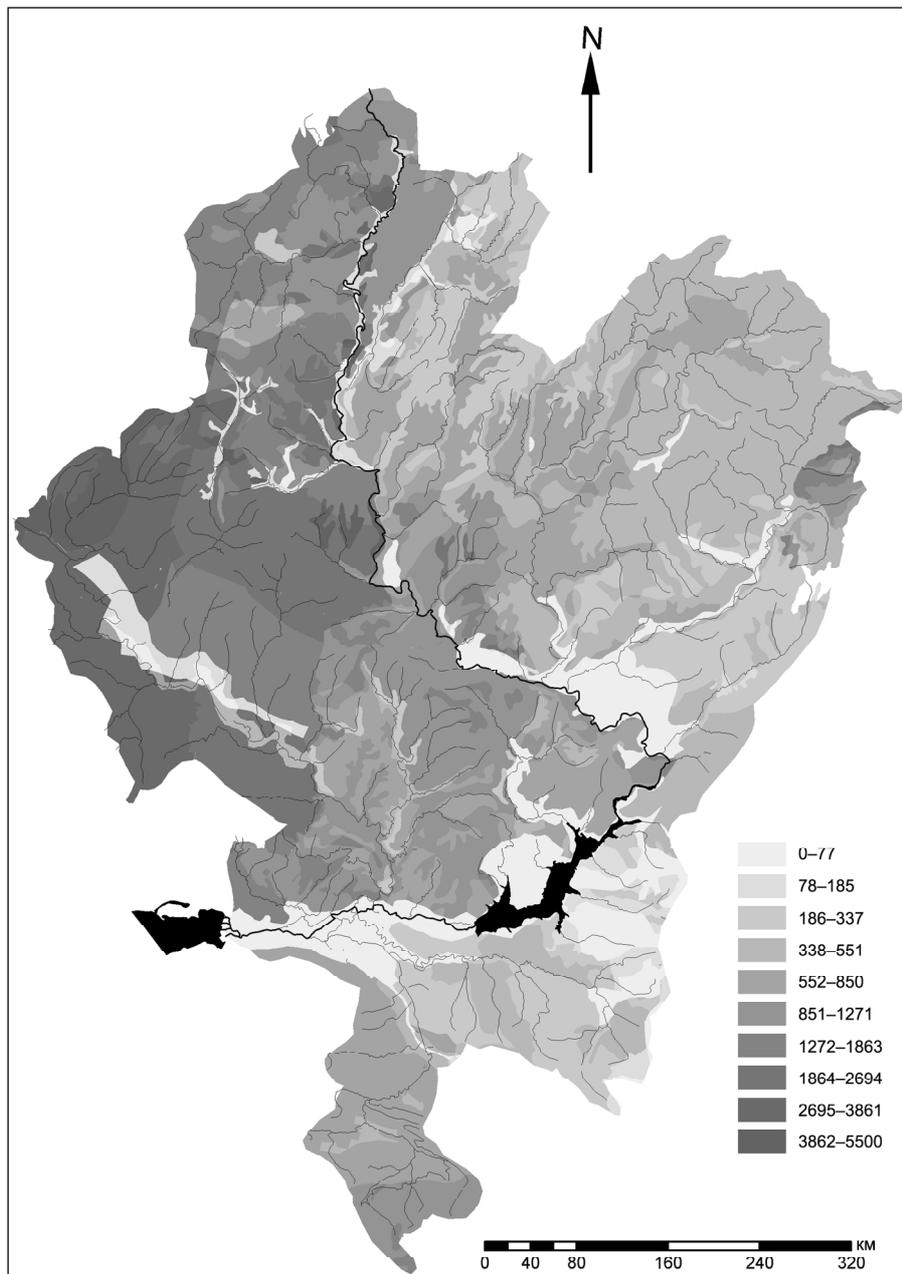


Рис. 2. Распределение величин смыва органического углерода ( $t/km^2$ ) в бассейне р. Дон за период интенсивного землепользования (1700–2010 гг.). Использована логарифмическая шкала величин смыва

Fig. 2. Distribution of the values of organic carbon ( $t/km^2$ ) washed with eroded soil in the Don River basin during the period of intensive land use (1700–2010). The logarithmic scale is used for the washed organic carbon values

ствует положениям фрактального подхода [Сидорчук, 2014]. Показатель степени  $D$  можно рассматривать как фрактальную размерность речной сети, а коэффициент  $M$  – как меру структуры речной сети. Была получена линейная зависимость между фрактальной размерностью речной сети отдельных водосборов и густотой долинно-балочной сети  $K$ :

$$(D - 1) = 0,89 K. \quad (3)$$

Количество водотоков  $N_{\Delta L}$  в диапазоне длин от  $L$  до  $L+\Delta L$  вычисляется по формуле:

$$N_{\Delta L} = \frac{\Delta \sum L}{L} = M(1 - D)L_{0mean}^{-1-D} \Delta L. \quad (4)$$

Здесь  $L_{0mean}$  – средняя длина водотока в том же диапазоне. Исходя из формул (2)–(4), в бассейне р. Дон имеется 44 540 балок и суходолов.

Получена эмпирическая связь между длиной водотока  $L_0$  (км) и площадью дна долины  $A_{fl}$  ( $km^2$ ):

$$A_{fl} = 0,029 L_0^{1,6}. \quad (5)$$

Рассчитанная с применением формул (4)–(5) суммарная площадь дна балок в диапазоне длин водотоков 1–10 км составила 12 900  $km^2$ . На этой площади за период интенсивного землепользования осело 95% смытых с водосборов почв, или около  $16 \cdot 10^9$  т наносов. Средняя мощность таких наносов составляет око-

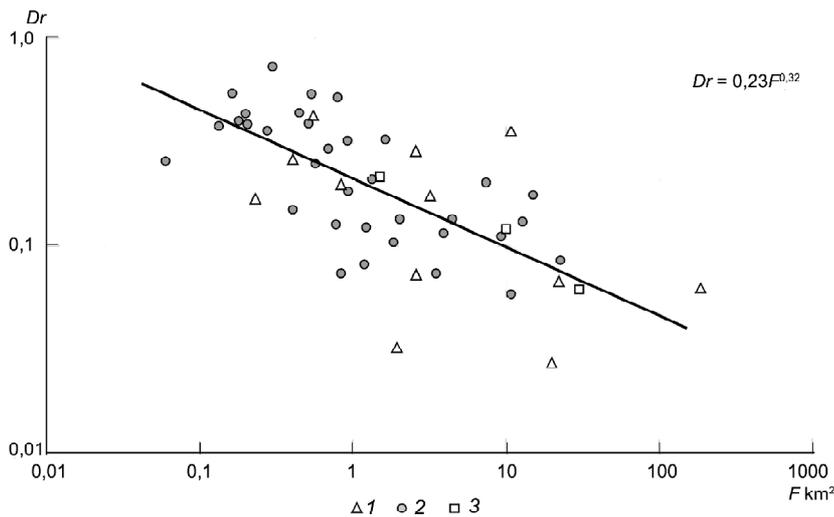


Рис. 3. Изменение величины коэффициента доставки  $Dr$  (отношения транспорта наносов в данном створе к эрозии на прилегающем водосборе) с площадью водосбора  $F$ ,  $\text{km}^2$ . Обозначения: 1 – гидрологические станции в бассейне р. Дон, 2 – пруды в бассейне р. Дон; 3 – гидрологические станции в бассейне р. Северский Донец

Fig. 3. The delivery ratio  $Dr$  (the ratio of sediment transport through a section to erosion in the adjacent catchment) versus the catchment area  $F$ ,  $\text{km}^2$ . 1 – hydrological stations in the Don River basin, 2 – ponds in the Don River basin, 3 – hydrological stations in the Severskiy Donets River basin

лю 0,9–1,0 м, что не противоречит имеющимся данным бурения в днищах балок [Голосов, 1998]. Со смытым почвенным материалом в балках и суходолах бассейна р. Дон отложилось около  $0,39 \cdot 10^9$  т органического углерода.

**Эмиссия углекислого газа при минерализации органического вещества смытых почв, отложенного в балочной сети.** Время смыва материала почв, отложившегося в балочной сети в течение периода интенсивного землепользования, варьирует по площади бассейна р. Дон. Оно определяется распределением факторов эрозии почв во времени и пространстве (рис. 1, 2). Средняя мощность материала, намывтого за последние 25 лет, составляет 0,24 м, а за последние 50 лет – 0,45 м. Глубина 0,24 м примерно соответствует нижней границе проникновения основной массы корней травянистых растений, а глубина 0,45 м – отдельных наиболее длинных корней. Глубже обновления органического углерода в почвах практически не происходит. Часто такие намывтые почвы перекрыты наносами [Тишкина, Иванова, 2010]. Перечисленные признаки позволяют классифицировать эту часть профиля намывтых почв в качестве погребенных. В целом для бассейна Дона в почвах, намывтых за период 50–

100 лет назад, содержится 22% смытого органического углерода, за период 101–200 лет – 31% и за период 201–310 лет назад – 12% (рис. 4). Таким образом, в погребенных почвах (если принять их расчетную верхнюю границу  $H$  на глубине 45 см) содержится 65% всего органического углерода, поступившего в балочно-суходольную сеть со смытыми почвами, или  $0,25 \cdot 10^9$  т. Если же принять  $H=24$  см, эти цифры увеличиваются до 82% и  $0,34 \cdot 10^9$  т соответственно.

В погребенных почвах идут процессы минерализации органического вещества. Эти процессы приводят к потерям его содержания в погребенных почвах, так как не компенсируются поступлением органического вещества при разложении растительных остатков. Скорость этого уменьшения для черноземов в зависимости от времени погребения хорошо исследована [Иванов с соавт., 2009]. Для почв, погребенных за последнюю тысячу лет скорость потерь органического углерода, осредненная для многих почвенных разрезов, описывается зависимостью

$$\frac{\Delta C}{C_0 \Delta t} = -0,07t^{-1,07} \quad (6)$$

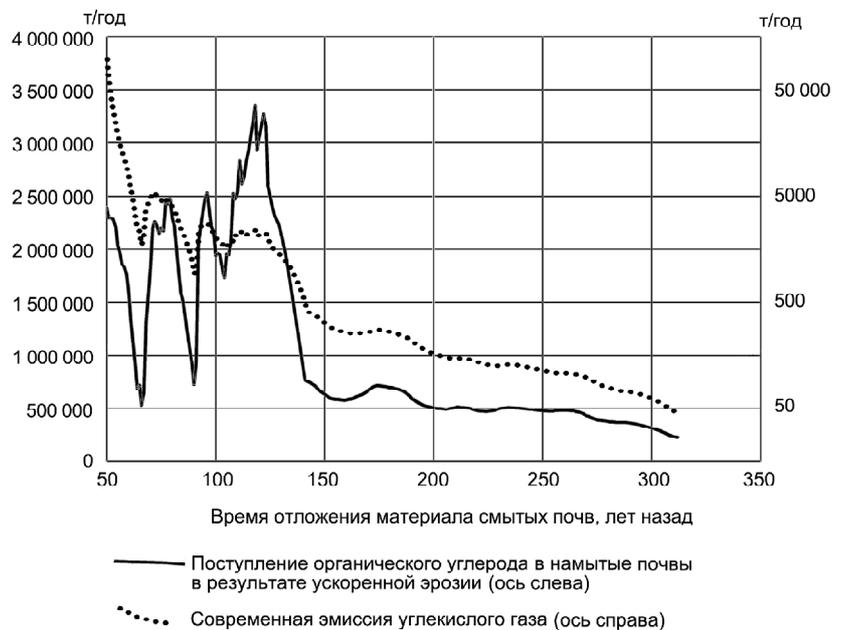


Рис. 4. Изменение поступления органического углерода (т/год) в намывтые почвы и величины современной эмиссии углекислого газа из погребенных почв (т/год, в весе углерода, при запаздывании  $\Delta T=50$  лет) в зависимости от времени поступления материала эрозии почв (лет назад от 2010 г.) в намывтые почвы в бассейне р. Дон

Fig. 4. The input of organic carbon (t/yr) washed into the deposited soils (the left axis) and the modern carbon dioxide emission from buried soils (t/yr, as carbon, with the time lag  $\Delta T = 50$  years) versus the time of soil erosion material input (years before 2010) into cumelic soils in the Don River basin

Она быстро падает с продолжительностью погребения почв  $t$ . Эта формула применима исключительно к погребенным почвам, поэтому необходимо определить запаздывание  $\Delta T$  между временем смыва и временем перехода соответствующей намытой почвы в погребенную. Это запаздывание определяется расчетной глубиной перехода почвы ( $H$ ) в погребенное состояние и составляет  $\Delta T=25$  лет при  $H=24$  см и 50 лет при  $H=45$  см.

В почвах, погребенных 50 лет назад (то есть смытых 75 или 100 лет назад, в зависимости от  $H$ ), скорость потерь содержания органического углерода составляет 0,1% в год от начального количества  $C_0$ , для почв, погребенных 100 лет назад – 0,05%, 200 лет назад – 0,025% в год. Такое резкое уменьшение скорости разложения органического вещества в погребенных почвах объясняется уменьшением содержания лабильных фракций гумуса и увеличением его стабильности [Иванов с соавт., 2009]. В почвах, погребенных 50 лет назад, остается около 75%, а в почвах, погребенных 250 лет назад, – около 70% от начального содержания органического углерода.

В дальнейших подсчетах будем исходить из предположения, что потери органического углерода в погребенных почвах, которые описываются формулой (6), объясняются его переходом в углекислый газ. Зная начальный объем поступления органического углерода  $V_{CT}$  за год  $T$ , и продолжительность его погребения  $t=2010 - T - \Delta T$ , можно рассчитать современную скорость потерь по формуле (6) и, соответственно, актуальную эмиссию углекислого газа из погребенных почв:

$$E_C = 0,07 \sum_{T=1700}^{2009-\Delta T} V_{CT} (2010 - T - \Delta T)^{-1,07}. \quad (7)$$

Так как не все потери органического углерода связаны с его переходом в углекислый газ, эта оценка будет несколько завышена. Она также зависит от положения расчетной верхней границы погребенных почв  $H$ , так как с повышением этой границы и вовлечением в расчеты более «молодого» органического углерода рассчитанная эмиссия увеличивается. Для бассейна р. Дон оценка современ-

ной эмиссии «сверху» при  $H=45$  см составила  $0,67 \cdot 10^6$  т углерода в год, или  $1,6$  т/км<sup>2</sup> в год. Если принять  $H=24$  см, то эти цифры увеличатся до  $0,89 \cdot 10^6$  т углерода в год, или  $2,1$  т/км<sup>2</sup>. Эта величина составляет всего около 0,5–0,75% микробного дыхания современных почв степной зоны России, которое, по оценкам Кудеярова и Кургановой [2005], равно 280–360 т/км<sup>2</sup> в год.

#### Выводы:

– за 300 лет интенсивного землепользования в бассейне р. Дон ( $425\,000$  км<sup>2</sup>) было смыто с пашни около  $16,9 \cdot 10^9$  т почвы и с ней  $0,41 \cdot 10^9$  т органического углерода. Это около 10% органического углерода, который содержится в современном пахотном горизонте почв бассейна. Основная часть этого материала (95%) аккумулировалась в днищах балок и суходолов на площади около  $12\,900$  км<sup>2</sup>;

– нижняя часть профиля намытых почв может быть отнесена к погребенным почвам, так как в ней практически не происходит обновления органического углерода. Органическое вещество в погребенных почвах подвергалось минерализации, и происходила эмиссия углекислого газа. Скорость уменьшения количества органического вещества в почвах уменьшается с увеличением периода погребения;

– скорость современной некомпенсированной эмиссии углерода (в виде углекислого газа) из смытых почв составляет в бассейне р. Дон  $1,6$ – $2,1$  т/км<sup>2</sup> в год;

– несмотря на значительное количество органического углерода, погребенного в смытом материале почв, его вклад в современную эмиссию углекислого газа невелик (около 0,5–0,75% микробного дыхания современных почв степной зоны России). Эта величина существенно меньше ошибок в оценках поступления  $CO_2$  в атмосферу из современных почв. Следовательно, современный поток углекислого газа из пула углерода, сформированного в результате ускоренных при интенсивном землепользовании эрозионно-аккумулятивных процессов, не оказывает существенного влияния на баланс  $CO_2$  в атмосфере и может не учитываться в сценариях антропогенного изменения климата.

**Благодарности.** Работа выполнена по теме «Эволюция и трансформация эрозионно-руслых систем в условиях изменения природной среды и антропогенных нагрузок» (ГЗ, Номер ЦИТИС: АААА-А16-116032810084-0).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Геннадиев А.Н., Голосов В.Н., Чернянский С.С., Маркелов М.В., Олсон К.Р., Ковач Р.Г., Беляев В.Р. Анализ сопряженного использования радиоактивного и магнитного трассеров для количественной оценки эрозии почв // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1080–1093.

Геннадиев А.Н., Жидкин А.П., Олсон К.Р., Качинский В.Л. Эрозия и потери органического углерода при распашке склонов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. география. 2010. № 6. С. 32–38.

Голосов В.Н. Аккумуляция в балках Русской равнины // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. Т. 11. С. 97–112.

Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. <http://infooil.ru/reestr>, 2014.

Иванов И.В., Хохлова О.С., Чичагова О.А. Природный радиоуглерод и особенности гумуса современных и погребенных черноземов // Изв. РАН. Сер. географическая. 2009. № 6. С. 46–58.

Кудеяров В.И., Курганова И.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1112–1121.

Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.

Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 255 с.

Прыткова М.Я. Осадконакопление в малых водохранилищах. Балансовые исследования. Л.: Наука, 1981. 152 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 3. Бассейны Северского Донца и реки Приазовья, Л.: Гидрометеиздат, 1967.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 7. Донской район. Л.: Гидрометеиздат, 1973.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 7. Гидрологическая изученность, Донской район. Л.: Гидрометеиздат, 1964.

Сидорчук А.Ю. Фрактальная геометрия речных сетей // Геоморфология. 2014. № 1. С. 3–14.

Сидорчук А.Ю. Эрозионно-аккумулятивные процессы на Русской равнине и проблемы заиления малых рек // Тр. Академии водохозяйственных наук. М., 1995. Т. 1. С. 74–83.

Слепцов А.М., Клименко В.В. Обобщение палеоклиматических данных и реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет // История и современность. 2005. № 1. С. 118–135.

Тишкина Э.В., Иванова Н.Н. Почвенный покров распаханых и целинных прибалочных склонов (Курская область) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. география. 2010. № 6. С. 73–79.

Цветков М.А. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 г. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 212 с.

Чендев Ю.Г., Смирнова Л.Г., Петин А.Н., Кухарук Н.С., Новых Л.Л. Длительные изменения содержания гумуса в пахотных черноземах центра Восточно-Европейской равнины // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 6–9.

Klein Tank A.M.G. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment // Int. J. of Climatol. 2001. V. 22. P. 1441–1453. Data and metadata available at <http://www.ecad.eu>.

Litvin L.F., ZorinaYe.F., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V., Golosov V.N. Erosion and sedimentation on the Russian plain. P. 1. Contemporary processes // Hydrological Processes. 2003. V. 17. № 16. P. 3335–3346.

Sidorchuk A.Yu. Floodplain sedimentation: Inherited memories // Global and Planetary Change. 2003. V. 39. № 1–2. P. 13–29.

Sidorchuk A., Litvin L., Golosov V., Chernysh A. European Russia and Byelorussia // Soil Erosion in Europe. Chichester, Wiley, 2006. P. 73–93.

Поступила в редакцию 30.10.2017  
Принята к публикации 12.03.2018

A.Yu. Sidorchuk<sup>1</sup>

#### DEPOSITED SOIL MATTER AND THE CARBON DIOXIDE EMISSION WITHIN THE DON RIVER BASIN

An algorithm for calculating the amount of soil matter washed out from the arable lands as a result of accelerated soil erosion for the period of intensive land use (the last 300 years) and associated organic carbon accumulation in deposited matter, as well as the actual carbon dioxide flow from this carbon pool, was proposed. The calculations are based on the current intensity of soil erosion in the river basin and the content of organic matter in the soils, transformed to the period of intensive land use by time-dependent corrections to erosion factors, i. e. climate change, soil conditions and land use. The calculations show that over 300 years about  $16,9 \cdot 10^9$  tons of soil was washed away from the arable lands in the Don River basin ( $425\,000 \text{ km}^2$ ) including  $0,41 \cdot 10^9$  tons of organic carbon. 95% of this matter was accumulated in the bottoms of balkas and dry valleys on the area of  $12\,900 \text{ km}^2$ , forming a layer of deposited soils (stratozems) with an average thickness of 0,9–1,0 m. The lower part of the profile of these cumulic soils (below 0,25–0,45 m) was classified as buried soils, since there is practically no renewal of organic carbon. The organic matter of the buried soils was mineralized and its content decreased in time. The modern uncompensated carbon emission (as  $\text{CO}_2$ ) in the Don River basin was calculated to be 1,6–2,1 t/ $\text{km}^2$  per year, amounting to about 0,5–0,75% of microbial respiration of modern soils in the steppe zone of Russia. Despite rather large amount of organic carbon buried in the cumulic soils, the modern emission of carbon dioxide from this carbon pool formed by the accelerated erosion and accumulation processes does not affect significantly the  $\text{CO}_2$  budget in the atmosphere. It is thus possible not to consider it in the scenarios of the anthropogenic climate change.

*Key words:* period of intensive land use, soil erosion, stratozems, organic carbon mineralization.

*Acknowledgments.* The study was carried out under the state-financed research theme «Evolution and Transformation of Erosion–Channel Systems under Changing Environment and Human Impact» (№ AAAA-A16-116032810084-0).

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: fluvial05@gmail.com

## REFERENCES

- Chendev Yu.G., Smirnova L.G., Petin A.N., Kukharuk N.S., Novykh L.L.* Dlitel'nyye izmeneniya soderzhaniya gumusa v pakhotnykh chernozemakh sentra Vostochno-Yevropeyskoy ravniny. [Long-term changes of humus content in arable chernozems of the centre of the East European Plain] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2011. № 8. P. 6–9 (in Russian).
- Gennadiyev A.N., Golosov V.N., Chernyansky S.S., Markelov M.V., Olson K.R., Kovach R.G., Belyaev V.R.* Analiz sopryazhennogo ispol'zovaniya radioaktivnogo i magnitnogo trasserov dlya kolichestvennoy otsenki erozii pochv. [Analysis of the conjugate use of radioactive and magnetic tracers for the quantitative assessment of soil erosion] // Pochvovedenie. 2005. № 9. P. 1080–1093 (in Russian).
- Gennadiyev A.N., Zhidkin A.P., Olson K.R., Kachinsky V.L.* Eroziya i poteri organicheskogo ugleroda pri raspashke sklonov. [Erosion and loss of organic carbon during the plowing of slopes]. Vestnik Mosk. un-ta, seriya geografiya. 2010. № 6. P. 32–38 (in Russian).
- Golosov V.N.* Akkumulyatsiya v balkakh Russkoy ravniny [Accumulation in the balkas of the Russian Plain] // Eroziya Pochv i Ruslovyye Protsessy. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1998. V. 11. P. 97–112 (in Russian).
- Ivanov I.V., Khokhlova O.S., Chichagova O.A.* Prirodnyy radiouglerod i osobennosti gumusa sovremennykh i pogrebennykh chernozemov [Natural radiocarbon and specific features of humus of modern and buried chernozems] // Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya. 2009. № 6. P. 46–58 (in Russian).
- Klein Tank A.M.G.* Daily dataset of 20<sup>th</sup>-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment // Int. J. of Climatol. 2001. V. 22. P. 1441–1453. Data and metadata available at <http://www.ecad.eu>.
- Kudryarov V.I., Kurganova I.N.* Dykhaniye pochv Rossii: analiz bazy dannykh, mnogoletniy monitoring, obshchiye otsenki [Respiration of Russian soils: database analysis, long-term monitoring, general estimates] // Pochvovedenie. 2005. № 9. P. 1112–1121 (in Russian).
- Larionov G.A.* Eroziya i deflyatsiya pochv: osnovnyye zakonomernosti i kolichestvennyye otsenki. [Erosion and deflation of soils: basic regularities and quantitative estimates]. Moscow: Izd-vo MGU, 1993. 200 p. (in Russian).
- Litvin L.F., Zorina Ye.F., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V., Golosov V.N.* Erosion and sedimentation on the Russian plain. P. 1: Contemporary processes // Hydrological Processes. 2003. V. 17. № 16. P. 3335–3346.
- Litvin L.F.* Geografiya erozii pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel' Rossii. [Geography of soil erosion within agricultural lands of Russia]. IKTS Moscow: «Akademkniga», 2002. 255 p. (in Russian).
- Prytkova M.* Osadkonakopleniye v malykh vodokhranilishchakh. Balansovyye issledovaniya [Sedimentation in small reservoirs. Balance studies]. Leningrad: Nauka, 1981. 152 p. (in Russian).
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost' Donskoy rayon* [Resources of surface waters of the USSR. Hydrological study. The Don River district]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1964. V. 7.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Donskoy rayon* [Resources of surface waters of the USSR. The Don River district]. V. 7. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Ukraina i Moldaviya. Basseyny Severskogo Donsa i reki Priazov'ya.* [Resources of surface waters of the USSR. Ukraine and Moldova. Basins of the Seversky Donets and the Azov Sea area rivers]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967. V. 6. Is. 3.
- Sidorchuk A., Litvin L., Golosov V., Chernysh A.* European Russia and Byelorussia. Soil Erosion in Europe. Chichester: Wiley, 2006. P. 73–93.
- Sidorchuk A.Yu.* Eroziionno-akkumulyativnyye protsessy na Russkoy ravnine i problemy zaileniya malykh rek. [Erosion-accumulative processes within the Russian Plain and problems of silting of small rivers] // Tr. Akademii vodokhozyaystvennykh nauk. Moscow, 1995. V. 1. P. 74–83 (in Russian).
- Sidorchuk A.Yu.* Floodplain sedimentation: Inherited memories // Global and Planetary Change. 2003. V. 39. № 1–2. P. 13–29.
- Sidorchuk A.Yu.* Fraktal'naya geometriya rechnykh setey [Fractal geometry of river networks] // Geomorfologiya. 2014. № 1. P. 3–14 (in Russian).
- Sleptsov A.M., Klimenko V.V.* Obobshcheniye paleoklimaticheskikh dannykh i rekonstruktsiya klimata Vostochnoy Yevropy za posledniye 2000 let. [Generalization of paleoclimatic data and reconstruction of the climate of Eastern Europe for recent 2000 years] // Istoriya i sovremennost'. 2005. № 1. P. 118–135 (in Russian).
- The Unified State Register of Soil Resources of Russia. <http://infooil.ru/reestr>, 2014 (in Russian).
- Tishkina E.V., Ivanova N.N.* Pochvennyy pokrov raspakhannykh i tselinnykh pribalochnykh sklonov (Kurskaya oblast') [Soil cover of ploughed and virgin near-ravine slopes (Kursk region)] // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. geografiya. 2010. № 6. P. 73–79 (in Russian).
- Tsvetkov M.A.* Izmneniye lesistosti Yevropeyskoy Rossii s kontsa XVII stoletiya po 1914 g. [Change in the forest cover of European Russia since the end of the 17<sup>th</sup> century till 1914]. M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. 212 p. (in Russian).

Received 30.10.2017  
Accepted 12.03.2018