

А.Ю. Сидорчук

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

## **Органический углерод в намывных почвах и современная эмиссия углекислого газа как результат эрозионно-аккумулятивных процессов в бассейне р. Дон<sup>1</sup>**

### **Введение**

16-18 тысяч лет назад на южном мегасклоне Восточно-Европейской равнины поверхностный сток воды метеорного происхождения достигал катастрофических величин. Продолжительность этого этапа составляла 2-3 тыс. лет. Катастрофический поверхностный сток проходил в условиях разреженной перигляциальной растительности и сопровождался интенсивной эрозией по всей длине эрозионно-русловых систем. Современное строение русловой и эрозионной сети сложилось в основных чертах в результате этого и предшествующих подобных эпизодов. В этот период образовались так называемые унаследованные поймы [Sidorchuk, 2003], ширина которых намного превосходит современный пояс меандрирования. Тогда же сформировалась или была обновлена ложбинно-балочная сеть на склонах речных долин. После периода катастрофического поверхностного стока воды происходило его уменьшение, и к началу голоцена величина стока снизилась до современного уровня. В длительный период относительно пониженного стока продолжительностью около 12 тыс. лет происходила аккумуляция наносов по всей длине переуглубленной русловой и эрозионной сети. Вместе с наносами происходила аккумуляция органического углерода, поступавшего в основном из смытых почв. Процесс аккумуляции смытых со склонов наносов в верхних частях речных долин [Сидорчук, 1995], а также на поймах малых и средних рек [Sidorchuk, 2003], продолжался в период ускоренной эрозии на сельскохозяйственных землях из-за недостаточной транспортирующей способности потоков в верхних звеньях речной сети и слабой сопряженности склоновой и русловой частей эрозионно-русловых систем. В этих отложениях также накапливались органические вещества почв, характеризующиеся содержанием органического углерода [Геннадиев и др., 2010]. Их минерализация приводит к эмиссии углекислого газа. Таким образом, наряду с потерей почвенного

---

<sup>1</sup> Выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева

плодородия, эрозионно-аккумулятивные процессы приводят к формированию дополнительного пула углерода в отложениях речных долин и к возникновению дополнительного источника углекислого газа. Наиболее активно эти процессы происходят в поясе черноземных почв. Ниже эти процессы будут рассмотрены на примере бассейна р. Дон.

### Этап катастрофической эрозии в бассейне р. Дон

Эрозионная сеть Восточно-Европейской равнины в основных чертах сформировалась в периоды катастрофического увеличения поверхностного стока воды. Катастрофический сток воды возникал при переходах от оледенения к межледниковью, когда происходило некоторое увеличение слоя осадков, а потери стока на испарение и инфильтрацию все еще были минимальными [Сидорчук и др., 2008]. Во время валдайского позднеледниковья годовой сток воды на южном мегасклоне Восточно-Европейской равнины был в 2-4 раза больше современного, максимальные расходы воды – в 5-7 раз больше. В условиях разреженной перигляциальной растительности эрозионный эффект такого стока был предельно высоким. В речных долинах формировались русла шириной в 10-15 раз больше, чем у соответствующих современных рек. На склонах формировались глубокие овраги; густое эрозионное расчленение почти достигало водоразделов. Продолжительность периода катастрофического стока была невелика – 2-3 тыс. лет, однако его геоморфологический эффект определил в основных чертах современное строение русловой и эрозионной сети.

Объем эрозионного выреза складывается из объема речных русел и объема эрозионных форм на склонах речных долин. Для современных рек бассейна р. Дон площадь живого сечения русла  $A_f$  (м<sup>2</sup>) длиной  $L_0$  (м) при уровне руслонаполнения равна

$$A_f = 1.8L. \quad (1)$$

Соответственно, объем всех речных русел равен

$$V = \sum_{i=1}^n \left( \int_0^{L_{i\_mean}} A \Delta L \right) N_{\Delta L}. \quad (2)$$

Количество рек  $N_{\Delta L}$  в диапазоне длин  $L_i - L_i + \Delta L$  со средней длиной  $L_{i\_mean} = L_i + \Delta L / 2$  можно оценить на основании данных о структуре русловой сети. Она хорошо описывается функцией повторяемость – магнитуда степенного (фрактального) вида:

$$\sum L = ML^{1-D}. \quad (3)$$

Здесь  $L$  – длина водотока,  $\sum L$  – сумма длин водотоков длиной не менее  $L$ . Формула (3) соответствует положениям фрактального подхода [Сидорчук, 2014]. Показатель степени  $D$

можно именовать фрактальной размерностью речной сети, а коэффициент  $M$  – мерой структуры речной сети.

По данным справочника Гидрологическая изученность... [1964], в бассейне р. Дон насчитывается 1772 постоянных водотока длиной от 1870 до 10 км. Количество рек в заданном диапазоне длин вычисляется по формуле

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

Для рек бассейна Дона длиной более 80 км  $M=193552$  км, а  $D= 1.618$ . Для рек в диапазоне длин 80-10 км  $M=100301$  км,  $D=1.446$ . Суммарный объем современной русловой сети постоянных водотоков при уровне руслонаполнения составляет  $9.87 \text{ км}^3$ .

Площади живого сечения позднеледниковых палеорусел Сейма, Свапы, Хопра и Москвы при руслонаполнении были определены по результатам бурения на перекатах этих палеорусел. Современные русла рек в этих створах характеризуются в среднем в 5 раз меньшей площадью живого сечения, чем позднеледниковые. Если использовать это соотношение, то объем сети русел рек в бассейне р. Дон в позднеледниковье составлял  $49.38 \text{ км}^3$ .

Количество балок и суходолов  $N_{\Delta L}$  в диапазоне длин  $L - L+\Delta L$  также вычисляется по формуле (4). Для эрозионной сети параметры  $M$  и  $D$  изменяются по территории бассейна реки в зависимости от густоты балочной сети в данном конкретном бассейне. Была получена линейная зависимость между фрактальной размерностью отдельных водосборов и густотой долинно-балочной сети  $K$ .

$$(D-1) = 0.89K. \quad (5)$$

Мера структуры долинно-балочной сети для данного водосбора, т.е. суммарная длина всех линейных форм длиной не менее 1 км, определялась по неопубликованной карте «Эрозионная опасность на территории СССР», подготовленной в Институте географии РАН<sup>2</sup> на основе анализа топографических карт м-ба 1:100000. Согласно этой карте, густота долинно-балочной сети бассейна Дона составляет  $0.72 \text{ км/км}^2$ , т.е. суммарная длина долинно-балочной сети –  $305300 \text{ км}$ . Из них  $59000 \text{ км}$  – реки длиной не менее 10 км,  $23600 \text{ км}$  – еще  $7800$  водотоков, каждый длиной менее 10 км [Гидрологическая изученность, 1964]. Суммарная длина балок и суходолов составляет  $222700 \text{ км}$ . Согласно расчетам по формулам (4) и (5), в бассейне Дона имеется  $44540$  балок и суходолов.

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

Получена эмпирическая связь между длиной водотока  $L_0$  (км) и площадью дна долины  $A_d$  (км<sup>2</sup>)

$$A_d = 0.029 L_0^{1.6}. \quad (6)$$

Рассчитанная с применением формул (4)-(6) суммарная площадь дна балок в диапазоне длин водотоков 1-10 км составила 12900 км<sup>2</sup>.

Объем эрозионного выреза балок и ложбин длиной  $L_0$  на склонах речной долины равен

$$V_b = 0.15 H_0 L_0^{1.6}. \quad (7)$$

Здесь  $H_0$  – перепад высот между устьем и вершиной балки (м). Суммарный объем современных балок составил 220 км<sup>3</sup>.

Суммарная длина и распределение длин для водотоков длиной менее 10 км в днищах балок по сравнению с позднеледниковьем изменились незначительно, так как современные балки в основном наследуют древние. Глубина позднеледникового эрозионного выреза  $H_{0LGT}$  была в среднем на треть больше современной. Объем позднеледниковой эрозионной сети в бассейне Дона составлял 290 км<sup>3</sup>.

Всего за период катастрофического поверхностного стока 16-18 тыс. лет назад с территории бассейна Дона площадью 425 тыс. км<sup>2</sup> было вынесено около 340 км<sup>3</sup> (около 545 млрд. т) наносов, или ~500 т/км<sup>2</sup> в год. Для сравнения отметим, что современная среднеглобальная интенсивность выноса наносов в океан составляет около 130 т/км<sup>2</sup> в год, если же проводить оценки только для равнин, то около 60 т/км<sup>2</sup> в год. До сооружения Цимлянского водохранилища р. Дон выносил 11 т/км<sup>2</sup> в год.

#### **Аккумуляция смытых со склонов наносов в бассейне р. Дон в позднеледниковье – голоцене**

Приблизительный объем заполнения русловой сети и эрозионных форм к настоящему времени можно оценить, как разность объемов выреза за период катастрофической эрозии и современного. Для русловой сети эта разность составила около 39.5 км<sup>3</sup>, для балочной – около 70 км<sup>3</sup>. Как следует из приведенных ниже расчетов, около 10-12 км<sup>3</sup> из них отложилось за последние 300 лет, на этапе ускоренной эрозии. Таким образом, всего примерно за 12 тыс. лет в эрозионно-русловой системе бассейна р. Дона накопилось около 100 км<sup>3</sup> наносов в виде намывных почв. Это около 160 млрд. т наносов, или в среднем 31 т/км<sup>2</sup> в год, что вполне соответствует представлениям о сравнительно низких темпах эрозии в голоцене.

Для нескольких участков в бассейне р. Дона скорости осадконакопления установлены по данным бурения и радиоуглеродного датирования отложений. На профиле через пойму р.

Хопра выше п. Поворино объем отложений на пойме шириной 9.5 км достигает 27000 м<sup>3</sup> на пог. м длины долины; средняя по профилю мощность этих отложений составляет 2.8 м. Средняя скорость осадконакопления варьирует на разных элементах рельефа поймы, достигая 1.6 мм/год в глубоких плесах больших палеорусел. В период формирования голоценовой поймы (последние 7–8 тыс. лет) скорость осадконакопления была довольно стабильной и колебалась вокруг 0.3 мм/год (см. рис. 5 в [Сидорчук, 2014]). В общем виде скорость осадконакопления в русловой сети (в долях общего объема  $V_0$ ) описывается формулой

$$\frac{dV}{V_0 dt} = 9.7 * 10^{-9} T + 5.9 * 10^{-6} . \quad (8)$$

В балке Переполье в бассейне р. Хопра у п. Поворино нижние 20-30% отложений (в основном суглинков) накопились за позднеледниковое время (начиная приблизительно с 13300 календарных л. н.) [Сидорчук, Панин и др., 2018]. Верхняя часть отложений представлена тяжелыми суглинками темно-серого и черного цвета. Радиоуглеродные датировки, полученные из разных слоев этой толщи, близки друг к другу и лежат в диапазоне 5700-6100 калибр. л. н. С большой степенью вероятности они отражают возраст смытых с водосбора почв, тогда как собственно эрозионный смыв произошел позднее. Общая модель скорости осадконакопления в овражно-балочной сети (в долях общего объема  $V_0$ ) описывается формулой

$$\frac{dV}{V_0 dt} = -6.8 * 10^{-9} T + 1.0 * 10^{-4} . \quad (9)$$

### **Этап ускоренной антропогенной эрозии в период интенсивного землепользования**

Смытый за период интенсивного землепользования почвенный материал, переотложенный в речных долинах, обычно сложно отличить от материала более древних намывных почв. Поэтому для периода интенсивного землепользования более целесообразно рассчитывать объем смытого с полей почвенного материала по модели эрозии и оценивать ту его часть, которая аккумулировалась в речных долинах. Интенсивность почвенной эрозии для Европейской части России была рассчитана [Литвин, 2002] для условий 1980-1985 гг. Были использованы адаптированные Г.А. Ларионовым [1993] модели смыва талыми водами и ливневыми осадками. Эти модели представляют собой комбинацию факторов эрозии, которые зависят от климата (количества осадков), свойств почв (структуры, механического состава, содержания гумуса) и типа землепользования (площади и структуры пахотных земель, видов севооборота и т.д.). Пересчет интенсивности смыва почв от условий 1980-х гг. на весь

период интенсивного землепользования в бассейне р. Дона (XVIII-XX века) осуществлялся путем внесения поправок в коэффициенты и факторы этих моделей [Сидорчук, 1995; Litvin et al., 2003; Sidorchuk et al., 2006].

Климатические характеристики, в первую очередь слой осадков, изменялись во времени волнообразно; максимумы и минимумы увлаженности были синхронными по всему бассейну. На основании обработки базы данных метеорологических элементов [Klein Tank, 2001] выделяются периоды в целом повышенного увлажнения в 1704-1778, 1890-1935 годах 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.

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

$$C = C_0 - 0.15T^{0.32}. \quad (10)$$

Здесь  $C_0$  начальное содержание органического углерода в пахотном горизонте. Размываемость почв увеличивается с уменьшением содержания гумуса. За 300 лет интенсивного землепользования размываемость почв в бассейне р. Дон увеличилась примерно на 30%.

Наибольшее влияние на суммарный смыв почв и органического углерода оказало изменение площади пашни в бассейне. До середины XIX века распашка земель велась только в северной части бассейна Дона, которую медленно осваивали земледельцы. Основная территория, населенная казаками, была введена в сельскохозяйственный оборот только в 50-е гг. XIX века, но интенсивность освоения была настолько высокой, что уже к концу XIX века земли Войска Донского были распаханы на 70-80% [Цветков, 1957]. В 20 веке площадь пашни резко уменьшалась во время Гражданской и Великой Отечественной войн и восстанавливалась в 20-30-е и 50-80-е гг. В конце XX и в начале XXI веков площадь пашни здесь несколько уменьшилась за счет наиболее эродированных земель и неудобий. В целом для всего бассейна р. Дона изменчивость характеристик землепользования, в первую очередь площади пашни, объясняет около 80% изменчивости величины эрозии почв, а изменчивость климатических факторов – только около 20%.

Расчеты показывают, что за период интенсивного землепользования с 1700 по 2010 год в бассейне р. Дона было смыто с пашни 16.9 млрд. т почвы. Из них за первые 170 лет было смыто 16.3% почвы (по весу), а основная масса – за последующие 140 лет.

Данные по стоку наносов в бассейне р. Дона обобщены для периода относительной стационарности рядов наблюдений на 105 гидрологических станциях [Ресурсы поверхностных вод, 1967, 1970], в том числе на малых водосборах Нижнедевицкой стоковой станции и Дубовской гидрометобсерватории. Кроме того, имеются многочисленные наблюдения за заилением прудов и малых водохранилищ, которые также используются для оценки стока наносов [Прыткова, 1981]. Эти данные показывают, что коэффициент доставки наносов  $Dr$  (отношение транспорта наносов в данном створе к эрозии на водосборе) в водотоках бассейна р. Дон уменьшается с увеличением площади водосбора  $F$  (км<sup>2</sup>), в первую очередь за счет аккумуляции наносов в долинно-балочной сети:

$$Dr = 0.23F^{0.32}. \quad (11)$$

Наиболее быстро такая аккумуляция происходит в днищах долин водотоков с площадью водосбора менее 100 км<sup>2</sup>, где 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. Кроме того, в большинстве таких балок и суходолов сооружены каскады прудов, где наносы оседают особенно быстро. На этой площади за период интенсивного землепользования осело 95% смытых с водосборов почв, или около 16 млрд. т наносов. Средняя мощность таких наносов около 0,9-1,0 м, что не противоречит имеющимся данным бурения в днищах балок [Голосов, 1998].

### **Органический углерод в намытых погребенных почвах и современная эмиссия углекислого газа**

При эрозии почв с наносами в русловую и эрозионную сеть поступал органический углерод. Его содержание  $C$  (%) в отложениях, намытых в позднеледниковье-голоцене, уменьшается с возрастом отложений приблизительно линейно

$$C = -0,0001T + 2,6, \quad (12)$$

что связано как с первичным увеличением содержания органики в почвах от позднеледниковья к голоцену, так и с потерями органики в погребенных почвах со

временем. Если следовать моделям осадконакопления (8) и (9) и модели содержания органического углерода (12), то в намывных почвах различного возраста, накопившихся за 12 тыс. лет на территории бассейна р. Дона, в настоящее время содержится  $2,0 \text{ км}^3$  ( $0,7 \text{ км}^3$  в русловой сети и  $1,3 \text{ км}^3$  в балочной), или около 3,2 млрд. т органического углерода.

За период интенсивного землепользования 1700 - 2010 гг. в бассейне р. Дона было смыто с пашни 0.41 млрд. т органического углерода. Из них за первые 170 лет было смыто 21.5% органического углерода (по весу), а основная масса – за последующие 140 лет. Всего рассчитанное современное количество органического углерода в намывных и погребенных почвах в отложениях разного возраста в бассейне р. Дона составляет около 366 млрд. т. Для сравнения, в пахотном горизонте современных почв на территории бассейна р. Дона содержится около 4-5 млрд. т органического углерода, т.е. ненамного больше, чем в погребенных почвах.

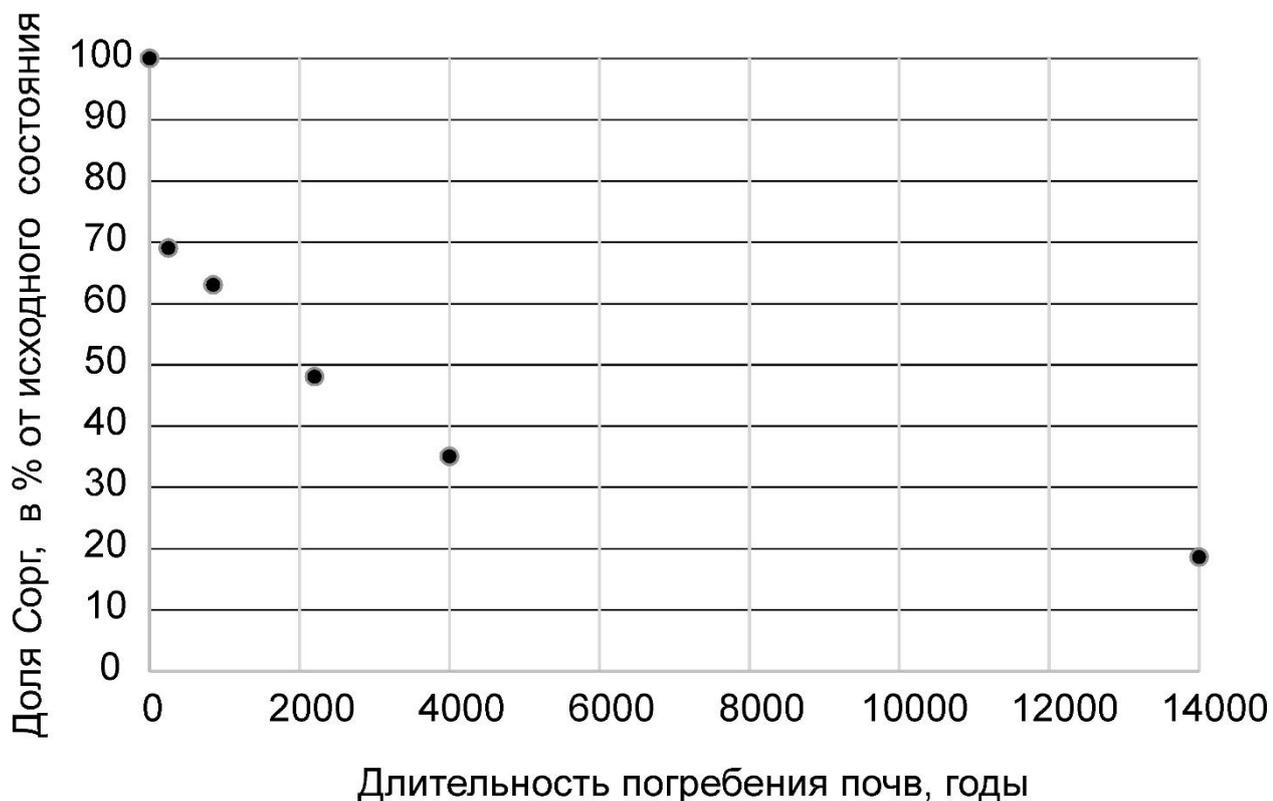


Рис. 1 Изменение количества органического углерода в погребенных почвах (в процентах начального содержания) в зависимости от длительности погребения почв (данные И.В. Иванова и др., 2009)

В погребенных почвах протекают процессы минерализации органического вещества. Это приводит к потерям содержания органического вещества в погребенных почвах, так как эти потери не компенсируются поступлением органики при разложении

растительных остатков. Скорость этого уменьшения в зависимости от продолжительности погребения  $t$  для черноземов хорошо исследована [Иванов и др., 2009]. Скорость потерь углерода падает с длительностью погребения почв  $t$  тем быстрее, чем больше возраст погребенных почв (рис. 1). Так, в почвах, погребенных 50 лет назад, скорость потерь содержания органического углерода составляет 0,1% в год от начального количества  $C_0$ . Для почв, погребенных 100 лет назад, эта скорость составляет 0,05%, 200 лет назад – 0,025%, 1000 лет назад – 0,009%, 10000 лет назад – 0,0016% в год от начального количества. В дальнейших подсчетах будем исходить из предположения, что все потери органического углерода в погребенных почвах, рассчитанные по данным И.В. Иванова и др. [2009] (рис. 1), представляют собой минерализацию с образованием углекислого газа. Зная начальный объем накопления органического углерода и время его погребения, можно рассчитать современную скорость потерь, а затем, умножив объем углерода на скорость его потерь, рассчитать актуальную эмиссию углекислого газа из погребенных почв. Так как не все потери органического углерода связаны с его переходом в углекислый газ, эта оценка будет несколько завышенной. Для таких расчетов необходимы модели распределения начальных объемов органического углерода по времени его захоронения. Такие распределения показаны на рис. 2 для периода 12000-300 лет назад и на рис. 3 для периода 300-50 лет назад. Более «молодые» намывные почвы уже нельзя отнести к погребенным, так как они находятся в верхних частях почвенного профиля, где происходит обновление органического углерода.

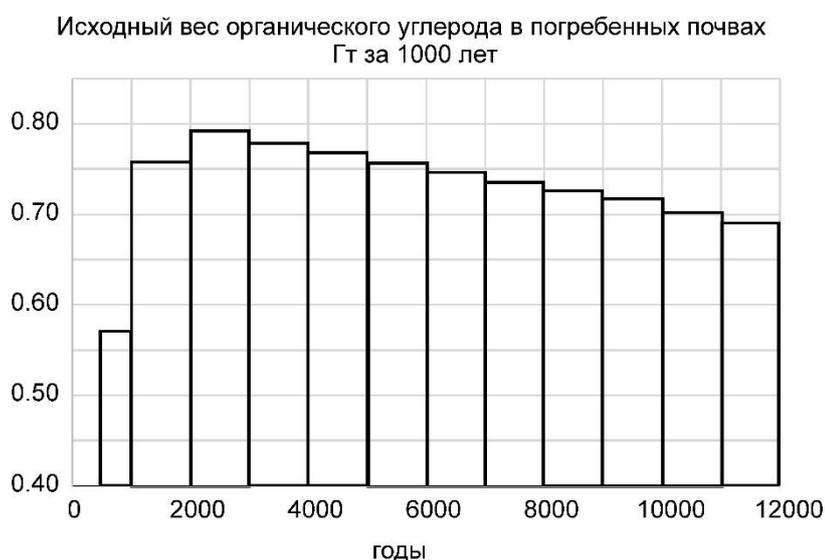


Рис. 2 Распределение начального содержания органического углерода в погребенных почвах в зависимости от времени поступления почвенного материала для периода протекания естественных процессов эрозии и аккумуляции 0.3-12 тыс. лет назад.

Для бассейна р. Дона оценка «сверху» современной эмиссии составила 0,77 млн. т углерода в год, или в среднем 1,8 т/км<sup>2</sup> в год. Основная часть этой эмиссии (0,67 млн. т углерода в год, в среднем 1,6 т/км<sup>2</sup> в год) идет из наиболее «молодых» погребенных почв, сформированных за последние 300 лет (период интенсивного землепользования). Это около 0,5-0,75% микробного дыхания современных почв степной зоны России [Кудеяров, Курганова, 2005].



Рис. 3 Изменение скорости поступления органического углерода в погребенные почвы в зависимости от времени смыва почвенного материала для последних 300 лет антропогенной ускоренной эрозии.

### Выводы.

Около 18 тыс. лет назад наступил период катастрофического поверхностного стока воды метеорного происхождения продолжительностью 2-3 тыс. лет. Этот катастрофический поверхностный сток, проходивший в условиях разреженной перигляциальной растительности, был в 2-4 раза больше современного и сопровождался интенсивной эрозией по всей длине эрозионно-руслowych систем. За этот период с территории бассейна р. Дон площадью 425 тыс. км<sup>2</sup> было вынесено 340 км<sup>3</sup> (около 545 млрд. т) наносов, или ~500 т/км<sup>2</sup> в год.

После периода катастрофического поверхностного стока воды происходило сокращение стока, и к началу голоцена его величина достигла современной. Это уменьшение стока сопровождалось аккумуляцией наносов по всей длине переуглубленной русловой и эрозионной сети. За 12 тыс. лет на территории бассейна р. Дона площадью 425 тыс. км<sup>2</sup> отложилось 100 км<sup>3</sup> (~160 млрд. т) наносов, или в среднем 31 т/км<sup>2</sup> в год.

За последние 300 лет (период интенсивного землепользования) в бассейне р. Дона было смыто с пашни около 16.9 млрд. т почвы. 95% этого материала аккумуляровалось в днищах балок и суходолов на площади 12900 км<sup>2</sup> и образовало слой намытых почв (стратоземов) со средней мощностью 0,9-1,0 м. Некоторое количество наносов отложилось также на поймах рек.

Режим эрозии, транзита и аккумуляции наносов в эрозионно-русловой системе р. Дона существенно различался для периода преобладания естественных процессов и для периода интенсивного сельскохозяйственного освоения, хотя средняя интенсивность катастрофической естественной и ускоренной антропогенной эрозии была примерно одинаковой (3-5 т/га в год). В первом случае главными факторами были как изменения климата, так и состояния подстилающей поверхности. Эрозия и аккумуляция происходили во времени последовательно и захватывали все элементы эрозионно-русловых систем. Во втором случае главным фактором являлось состояние подстилающей поверхности, т.е. распашка склонов долин и водораздельных поверхностей. Эрозия и аккумуляция происходили практически одновременно и охватывали в основном склоны и верхние звенья эрозионно-русловых систем; в остальных частях систем происходил в основном транзит наносов.

Вместе с наносами в русловую и эрозионную сеть поступал органический углерод в основном из почв. В результате аккумуляции наносов с возрастом 0,3-12 тыс. лет в переуглубленной эрозионно-русловой сети бассейна р. Дона отложилось 10.5 млрд. т органического углерода; из них 3.2 млрд. т все еще содержится в погребенных почвах. С наносами, намытыми в результате ускоренной эрозии почв за последние 300 лет, поступило 0,41 млрд. т органического углерода. Общее его количество сопоставимо с содержанием органического углерода в современных почвах бассейна р. Дон.

Современная эмиссия углерода из отложений с возрастом до 12 тыс. лет, которые образовались в русловой и эрозионной сети бассейна р. Дон на этапе аккумуляции наносов в переуглубленной эрозионно-русловой сети и на этапе ускоренной эрозии почв, составляет 0,77 млн. т в год, т.е. 1,8 т/км<sup>2</sup> в год. Это существенно меньше ошибок в оценке поступления CO<sub>2</sub> в атмосферу из современных почв.

Таким образом, несмотря на весьма значительное количество органического углерода, погребенного в намытых почвах, современный поток углекислого газа из этого пула углерода не оказывает существенного влияния на баланс CO<sub>2</sub> в атмосфере и может не учитываться при разработке сценариев антропогенного изменения климата.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геннадиев А. Н. , Жидкин А. П. , Олсон К. Р. , Качинский В. Л.* Эрозия и потери органического углерода при распашке склонов // *Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. география.* 2010. № 6.
- Гидрологическая изученность, Донской район Т. 7. Л.: Гидрометеиздат 1964
- Голосов В. Н.* Аккумуляция в балках Русской равнины // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 11. М.; Изд-во МГУ, 1998.
- Иванов И.В., Хохлова О.С., Чичагова О.А.* Природный радиоуглерод и особенности гумуса современных и погребенных черноземов // *Известия РАН. Сер. географ.* 2009. № 6.
- Кудеяров В. И., Курганова И. Н.* Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // *Почвоведение.* 2005. № 9.
- Ларионов Г. А.* Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.; Изд. МГУ, 1993.
- Литвин Л. Ф.* География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.; "Академкнига", 2002.
- Прыткова М.Я.* Осадконакопление в малых водохранилищах. Л.: Наука, 1981.
- 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
- Сидорчук А. Ю.* Фрактальная геометрия речных сетей // *Геоморфология.* 2014. № 1.
- Сидорчук А. Ю.* Эрозионно-аккумулятивные процессы на Русской равнине и проблемы заиления малых рек // *Тр. Акад. Водохоз. наук.* Вып. 1. М., 1995.
- Сидорчук А. Ю.* Унаследованные поймы и седиментационный режим в пойменно-русловых комплексах // *Геоморфология.* 2014, № 3.
- Сидорчук А. Ю., Панин А. В., Борисова О. К.* Климатически обусловленные изменения речного стока на равнинах Северной Евразии в позднеледниковье и голоцене // *Водные ресурсы.* 2008. Т. 35, № 4.
- Сидорчук А.Ю., Панин А.В, Борисова О.К., Еременко Е.А.* Геоморфологические подходы к оценке величины речного стока в геологическом прошлом. Статья 3. Анализ структуры сети водотоков // *Геоморфология,* № 1, 2018

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

*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. № 8. 2011.

*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. vol. 22. p.1441-1453. Data and metadata available at <http://www.ecad.eu>.

*Litvin L. F., Zorina Ye F., Sidorchuk A. Yu, Chernov A. V., Golosov V. N.* Erosion and sedimentation on the Russian plain, part 1: Contemporary processes. //Hydrological Processes, 2003, Vol. 17. No 16.

*Sidorchuk A., Litvin L. , Golosov V., Chernysh A.* European Russia and Byelorussia. Soil Erosion in Europe. Chichester, Wiley, 2006.

*Sidorchuk, A. Yu.* Floodplain sedimentation: Inherited memories. //Global and Planetary Change. 2003 vol. 39 N 1-2. p. 13-29.