

## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕПОНИРОВАНИЯ CO<sub>2</sub> ПОЧВАМИ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

*А.Е. Сорокин, к.э.н., Московский авиационный институт,  
В.И. Савич, д.с.-х.н., РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, В.Н. Жуланова, д.б.н., Тувинский ГАУ,  
Ш. Мохаммади (Иран), А.И. Колесник, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 8-905-501-14-46*

*Показано, что депонирующая способность почв сухостепной зоны к CO<sub>2</sub> определяется накоплением гумуса и при длительной эволюции почв – накоплением карбонатов. Пахотные угодья характеризуются меньшей депонирующей способностью к диоксиду углерода по сравнению с естественными ценозами. Повышение урожая сельскохозяйственных культур увеличивает накопление CO<sub>2</sub> в продукции, но после ее использования CO<sub>2</sub> возвращается в атмосферу. В Туве интенсивность накопления органического вещества и углерода в агроценозах изменялась с 6,2 до 6,6 т/га.*

*Ключевые слова:* депонирование, CO<sub>2</sub>, гумус, карбонаты, каштановые почвы, сухостепная зона.

Для цитирования: Сорокин А.Е., Савич В.И., Мохаммади Ш., Колесник А.И. Агроэкологическая оценка депонирования CO<sub>2</sub> почвами сухостепной зоны. // Плодородие. – 2021. – №2. – С. 65-67. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.17

Повышение содержания диоксида углерода в атмосфере представляет большую опасность для существования человечества. Концентрация CO<sub>2</sub> в воздушной среде около 0,3%, в почвах чаще 2-4%. Увеличение концентрации CO<sub>2</sub> в воздушной среде обусловлено сжиганием углеводородов, поступлением в атмосферу продуктов жизнедеятельности людей, животных, микрофлоры, технологическими процессами.

Основными компонентами биогеоценозов, поглощающих CO<sub>2</sub>, являются растительность, микрофлора, почва. Сокращение ими накопления диоксида углерода в почве обусловлено образованием гумуса CaCO<sub>3</sub>, развитием микрофлоры. При этом процессы поглощения и выделения компонентами ландшафта CO<sub>2</sub> взаимосвязаны. Так, развитие растительности приводит к поглощению CO<sub>2</sub> из атмосферы. Однако разложение растительного опада и пожнивных остатков культурных растений сопровождается как накоплением гумуса и микробной биомассы, так и выделением CO<sub>2</sub> в атмосферу. Продукты питания человека растительного и животного происхождения аккумулируют CO<sub>2</sub>, но при их использовании выделяют CO<sub>2</sub>.

Одним из важных компонентов биоэкосистемы, поглощающих CO<sub>2</sub>, является почвенный покров.

**Цель исследований** – изучить закономерности протекающих в почвенном покрове процессов и дать агроэкологическую оценку депонирования CO<sub>2</sub> почвами сухостепной зоны.

**Методика.** Объектом исследования выбраны каштановые почвы Тувы [4, 10] и каштановые и серо-бурые почвы Ирана [11]. Методика состояла в оценке выделения CO<sub>2</sub> из почв [9], в определении содержания гумуса в почвах, его группового состава, в вычислении корреляции накопления C в почве, в урожае с.-х. культур на разных типах почв сухостепной зоны [5].

**Экспериментальная часть.** *Взаимосвязь образования CO<sub>2</sub> в почвах с гидротермическими условиями территории.* Согласно обобщению [3], поступление CO<sub>2</sub> из почвы в атмосферу составляет 1-30 кг/(га·ч) и обусловлено на 30% дыханием корней, на 30% – деятельностью микроорганизмов, на 30% – почвенной мезофауной.

*Секвестрование CO<sub>2</sub> в почвенно-растительном покрове ландшафтов.* В связи с возможным потеплением

климата, частично связанным с увеличением концентрации диоксида углерода в воздухе, большое экологическое значение имеет уменьшение концентрации CO<sub>2</sub> за счет поглощения почвой и растениями.

Исследования [7] показали, что наибольшее депонирование органического углерода (600-1400 кг C/га в год) сосредоточено в горно-лесных районах Алтая, Западных Саян и Южного Урала, в лесотундровых биоммах Камчатки. Наименьшие значения характерны для тундровой зоны. Однако удельные значения чистого прироста мортмассы выше у луговых биомов.

Изменение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере взаимосвязано с состоянием почв и растительности. Как отмечают ученые [3], предположительно в биосфере действует следующая схема регулирования концентрации CO<sub>2</sub> в компонентах ландшафта.

Концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере увеличивается, проявляется парниковый эффект, за ним следуют потепление, таяние ледников, оводнение низинных участков суши, интенсификация дернового процесса и болотообразования, формирование кораллов, расширение площади многогумусных почв. Вследствие этого, концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере уменьшается, усиливаются видообразование, аридизация, минерализация торфа и гумуса, и снова диоксид углерода поступает в атмосферу.

По данным [7], выделение CO<sub>2</sub> из почв в год колеблется от 1,5 до 2,5 г/(м<sup>2</sup>·сут).

По данным [4], баланс углерода в агроценозах Тувы (1981-2000 г.) составляет в лесостепи +0,04 т/га в год, в степи – 0,19; в сухой степи – 0,75 т/га в год. Знак баланса показывает, какую роль выполняют агрофитоценозы: являются ли они стоком для CO<sub>2</sub> атмосферы или его источником в атмосферу. Интенсивность минерализации и выделения CO<sub>2</sub> в атмосферу снижается в направлении от лесостепи к сухой степи, что в большей степени обусловлено накоплением в почвах этих зон гумуса и биомассой растительных остатков. По данным автора, пахотные почвы степной и сухостепной зон региона являются источником поступления CO<sub>2</sub> в атмосферу, агроценозы лесостепи депонируют CO<sub>2</sub> из атмосферы.

В значительной степени аккумуляция CO<sub>2</sub> в почвах происходит в гумус пахотного слоя. Так, для земле-

дельческой территории Тувы в агрочерноземе текстурно-карбонатном среднее содержание гумуса составляет 3,9%, в гидрометаморфизованном – 5,2, в темно-каштановой почве – 3,4, в светло-каштановой почве – 2,1%. Однако следует учесть, что поглощение CO<sub>2</sub> наблюдается не только в пахотном, но и в подпахотном слоях (в черноземе до 60 см, в светло-каштановой почве – 10-20 см). При этом в черноземе отношение C<sub>гк</sub>/C<sub>фк</sub> достигает 1,5-2,0, а в светло-каштановых почвах – 0,5, т.е. в черноземе гумус закреплен прочнее.

В то же время, выделение и поглощение почвами CO<sub>2</sub> существенно зависит от увлажнения почв. Отмечают [7], что преобразование органического вещества, обусловленное климатом, более существенно, чем влияние растительности. В сухостепной зоне выделение из почв CO<sub>2</sub> лимитируется, в первую очередь, влажностью [12]. Так, в темно-каштановых почвах, несмотря на температуру 26<sup>0</sup>С, эмиссия диоксида углерода не превышала 1,6-1,4 кг/ч на 1 га. С выпадением осадков эмиссия диоксида углерода увеличилась до 8,7-10 кг/ч на 1 га.

Вместе с тем, депонирование почвами CO<sub>2</sub> происходит при образовании не только гумуса, но и карбонатов в сухостепных и полупустынных районах. Отмечается [2], что в южном черноземе запасы органического углерода в слое 0-50 см составляют 13,1 кг/м<sup>2</sup>, а в слое 50-80 см запасы С-карбонатов – 5,1 кг/м<sup>2</sup>. В то же время, в серо-бурой почве запасы C<sub>орг</sub> в слое 0-25 см составляли 1,4 кг/м<sup>2</sup>, C<sub>карб</sub> – 3,7 кг/м<sup>2</sup>; в слое 0-75 см C<sub>орг</sub> – 1,7 кг/м<sup>2</sup>, C<sub>карб</sub> – 5,4 кг/м<sup>2</sup>.

В аридных почвах запасы углерода карбонатов в 1,4-7 раз превышают запасы органического углерода. По данным Шлезингера [2], запасы углерода в виде CaCO<sub>3</sub> в пустынях мира достигают 900·10<sup>12</sup> кг С. Запасы органического углерода составляют в педосфере 2100·10<sup>12</sup> кг С [6].

Для почв Ирана характерны щелочные значения pH – 7,6-8,1 в верхнем горизонте и 7,7-8,3 на глубине 100 см. Почвы в значительной степени засолены и малогумусированы. Поэтому их способность к поглощению CO<sub>2</sub> обусловлена в основном карбонатами подпахотных слоев.

Однако установлено [3], что карбонаты не оказывают заметного влияния на концентрацию CO<sub>2</sub> в почвах, большее значение имеют гумус, микроорганизмы и мезофауна, при этом образующаяся углекислота может стекать в более глубокие слои (плотность CO<sub>2</sub> – 22,0 г/л; у O<sub>2</sub> – 1,4, у N<sub>2</sub> – 1,2 г/л). Одним из приемов уменьшения эмиссии CO<sub>2</sub> из почв является усиление поглощения ее растениями.

При нормальном развитии растений и хорошем урожае они за сутки потребляют не менее 10-15 г CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> земельных угодий, в то время, как в атмосфере содержится всего лишь 0,59 г CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> воздуха (из расчета 0,03% концентрации диоксида углерода). Количество углерода, связываемого растительностью суши в процессе фотосинтеза, до вмешательства человека было равно 86·10<sup>9</sup> т/год. Сейчас площадь растительного покрова сократилась на 25%, и масса углерода, поступающего из педосферы в форме диоксида углерода, составляет около 74·10<sup>3</sup>. В посевах оптимальной густоты 1 м<sup>2</sup> листьев усваивает за день 12-25 г CO<sub>2</sub> и, за вычетом затрат на дыхание, образует 5-12 г сухой биомассы, что составляет чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). При этом растения на 90% используют диоксид

углерода почвы и только на 10% - диоксид углерода из атмосферного воздуха [6]. Растительный покров в зависимости от его состава и состояния поглощает 3,0-3,6 т/га CO<sub>2</sub> [1].

В разных ландшафтно-климатических зонах аккумуляция углерода в продукции агроценозов варьировала по годам. Это иллюстрируют данные таблицы.

**1. Аккумуляция углерода в продукции агроценозов Тувы, тыс. т/год**

Ландшафтно-климатическая зона	Годы	Площадь, га	ANP	BNP	NPP
Лесостепь	1981-2000	42054	84,5	61,8	146,4
	2001-2010	16528	32,3	19,8	52,1
Степь	1981-2000	150201	221,7	246,7	468,1
	2001-2010	8863	17,3	10,2	27,5
Сухая степь	1981-2000	52524	79,0	71,1	150,2
	2001-2010	10125	18,8	10,8	29,6
Итого	1981-2000	244779	385,3	379,7	764,9
	2001-2010	35516	68,4	40,8	109,2

*Примечание.* NPP – накопление углерода в продукции агроценозов за определенный промежуток времени (т/га в год), ANP – накопление продукции в надземной части; BNP – накопление продукции в подземной части.

Так, по полученным данным, в Туве в зоне каштановых почв за период с 1981 по 2000 г., в целом, значения продукции в надземной сфере составляют 4,0-4,9 т/га в год. Продукция подземной части равна 2,2 т/га в год. Интенсивность накопления органического вещества и углерода (NPP) изменяется от 6,2 до 6,6 т/га в год.

По полученным данным, аккумулярованные в растительной продукции запасы углерода определялись величинами площадей пашни в каждой природной зоне. При переводе пашни в залежь изменялось поглощение почвами CO<sub>2</sub>. В то же время, пашня России служит источником поступления диоксида углерода в атмосферу. По расчетам [8], средняя величина стока углерода в залежных экосистемах в первые 15 лет восстановления составляла в России 245 + 73 г/м<sup>2</sup> в год. В России за 1990-2005 г. связывание углерода атмосферы оценивалось в (22,8-83,3)·10<sup>12</sup> г С в год, или 23-83 Мт С за год.

Важное значение имеет разработка способов регулирования процессов поглощения CO<sub>2</sub> системой почва-растение. О.Д. Сиротенко (2004), оценивая эмиссию и депонирование углерода пахотными почвами отмечает, что накопление С в составе почвенного гумуса – наиболее эффективный способ снижения содержания диоксида углерода в пахотных почвах. Этому способствуют применение органических и минеральных удобрений, запашка соломы, внедрение покровных и промежуточных культур, проведение почвозащитных мероприятий, регулирование севооборотов.

Различные авторы выделяют следующие приемы увеличения углерод-поглощающей способности систем земледелия: перевод низкопродуктивных пашен в лугово-пастбищные и лесные угодья, выполнение противоэрозионных мероприятий, минимизация обработки и замена вспашки поверхностной обработкой, исключение из севооборота чистого пара, насыщение севооборота покровными и промежуточными культурами,

выращивание культур с повышенным содержанием лигнина и полифенолов, обязательной возврат побочной продукции в почву, оптимизация питательного режима за счет органоминеральной системы удобрения, устранение факторов, лимитирующих рост и развитие растений.

**Заключение.** Депонирующая способность системы почва-растение к CO<sub>2</sub> определяется поглощением диоксида углерода растениями и почвами, образованием гумуса, а в почвах сухостепной зоны образованием в почвенном профиле карбонатов. Накопление CO<sub>2</sub> растениями увеличивается с повышением плодородия почв и выше для естественных ценозов по сравнению с пашней. Накопление CO<sub>2</sub> в органическом веществе почв возрастает при повышении плодородия почв и биопродуктивности угодий при оптимальных условиях влажности и температуры для образования гумуса с Сгк/Сфк > 1. В сухостепной зоне депонирование CO<sub>2</sub> в почвах лимитируется недостатком влаги и, в связи с этим, низкой биопродуктивностью угодий и небольшой гумусированностью. Депонирование CO<sub>2</sub> в карбонатах проявляется в многовековых циклах эволюции почв сухостепной зоны.

#### Литература

1. *Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха*/ Под ред. Б.Г. Розанова, - М.: МГУ, 1985. - 107 с.
2. *Глазовская М.Л.* Педолитогенез и континентальные циклы углерода. - М.: Либроком, 2009. - 336 с.

3. *Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Крикунов Е.А.* Гео-сферы и педосфера. - М.: ГЕОС, 2010. - 190 с.
4. *Жуланова В.Н., Чупрова В.В.* Агропочвы Тувы: свойства и особенности функционирования, Тувинский гос. ун-т. - Красноярск: Крас.ГАУ, 2010. - 105 с.
5. *Зборишук Н.Г.* Состав и свойства почвенного воздуха, в сб. «Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха». - М.: МГУ, 1985. - С. 20-35.
6. *Кобак К.И.* Биологические компоненты углеродного цикла. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 146 с.
7. *Кудяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Ильина А.А., Кузнецова Т.В., Тимченко А.В.* Оценка дыхания почв России// Почвоведение. - 1995. - №1. - С. 33-42.
8. *Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякина В.О. и др.* Оценка изменений баланса и запасов углерода при восстановлении пахотных почв РФ в 1990-2005 г., Тез. 5-го Всероссийского съезда почвоведов. - Ростов-на-Дону, 2008. - 144 с.
9. *Савич В.И.* Методы исследования почвенного раствора и газового режима почв. - М.: РГАУ-МСХА, 2010. - 200 с.
10. *Савич В.И., Жуланова В.Н., Кащенко В.С.* Агроэкологическая оценка почв Тувы (1975-2010). - М.: РГАУ-МСХА, 2012. - 440 с.
11. *Савич В.И., Шишов Л.Л., Амергузин Х.А.* Агрономическая оценка и методы определения агрохимических и физико-химических свойств почв тропиков и субтропиков. - Астана, 2004. - 620 с.
12. *Худяков О.* Климат Монголии и парниковый эффект, в сб. «Экосистемы Монголии и приграничных территорий соседних стран: природные ресурсы, биоразнообразие и экологические перспективы». - Улан-Батор, 2005. - С. 372-375.

#### AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF CO<sub>2</sub> DEPOSITION BY SOILS OF DRY STEPPE ZONE

*A.Ye. Sorokin<sup>1</sup>, V.I. Savich<sup>2</sup>, V.N. Zhulanova<sup>3</sup>, Sh. Mohammadi<sup>2</sup>, A.I. Kolesnik<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Moscow Aviation Institute, Volokolamskoe sh. 4, 125993 Moscow, Russia;*

<sup>2</sup>*RSAU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya ul 49, 127550 Moscow, Russia;*

<sup>3</sup>*Tuvan state university, Lenina ul. 36, 667000 Kyzyl, Russia*

*It has been shown that the storage capacity of soils in the dry steppe zone for CO<sub>2</sub> is determined by the accumulation of humus and, during a long evolution of soils, by the accumulation of carbonates. Croplands are characterized by a lower storage capacity for carbon dioxide compared to natural cenoses. An increase in the yield of agricultural crops increases the accumulation of CO<sub>2</sub> in products, but after its use, CO<sub>2</sub> returns to the atmosphere. In Tuva, the intensity of accumulation of organic matter and carbon in agrocenoses varied from 6.2 to 6.6 t/ha.*

*Key words: deposition, CO<sub>2</sub>, humus, carbonates, chestnut soils, dry steppe zone.*