

# Баланс CO<sub>2</sub> при возделывании сахарной свёклы в Российской Федерации (обзор)<sup>S</sup>

**О.А. МИНАКОВА**, д-р с/х. наук (e-mail: olalmin2@rambler.ru)

**И.В. ЧЕРЕПУХИНА**, канд. биолог. наук (e-mail: irenius@list.ru)

**П.А. КОСЯКИН**, канд. с/х. наук

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»

## Введение

Повышение концентрации в атмосфере углекислого газа как одного из парниковых газов является основной проблемой загрязнения окружающей среды [4, 10, 21, 27, 30]. Согласно «Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата» странам-участницам необходимо ограничить выбросы углекислого газа как при промышленном производстве, так и в сельском хозяйстве. Цель настоящей Конвенции – добиться стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему [19].

Большое количество научных исследований посвящено эмиссии CO<sub>2</sub> в природных экосистемах (леса, луга, поймы) [10, 11], тогда как выделение углекислого газа в агроценозах, в том числе при возделывании сахарной свёклы, изучено недостаточно. При этом сахарная свёкла как культура с высокой продуктивностью связывает большое количество углерода [33], который она получает в основном из атмосферного воздуха, в то же время особенности возделывания её как пропашной культуры в значительной мере из-

меняют почвенную эмиссию CO<sub>2</sub> в агроценозах.

Цель исследований: выявить величину приходных и расходных статей баланса CO<sub>2</sub> при возделывании сахарной свёклы в Российской Федерации.

## Задачи исследования

1. Выявить связь антропогенной деятельности и эмиссии CO<sub>2</sub> в мире.

2. Определить количество CO<sub>2</sub>, связываемое растениями сахарной свёклы при формировании урожая.

3. Установить влияние приёмов возделывания сахарной свёклы на эмиссию углекислого газа в атмосферу.

4. Определить участие органического вещества почвы в углеродном обмене.

5. Изучить изменение эмиссии почвенного CO<sub>2</sub> в свекловичных агроценозах.

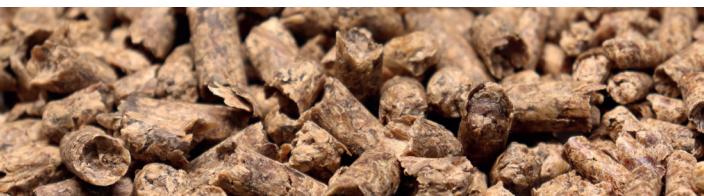
## Антропогенная деятельность и проблема CO<sub>2</sub>

Одним из важных факторов потепления климата на Земле в настоящее время является повышение концентрации в атмосфере парниковых газов, в том числе углекислого газа. В связи с этим была заключена вышеназванная

Конвенция, обязывающая подписавшие её страны составить баланс углерода на своей территории. В документе рассматриваются три категории в балансе парниковых газов по отношению к атмосфере: источники, стоки, резервуары предшественников парниковых газов. Конвенция предписывает странам-участницам принимать меры к уменьшению источников, увеличению стоков и сохранению резервуаров парниковых газов [4, 19, 34]. Актуальность проблемы углерода усиливается из-за глобальных изменений природной среды и климата, роста концентраций других парниковых газов в атмосфере Земли, дефицита продовольствия и энергии, утраты биоразнообразия и устойчивости экосистем и т. д. [21].

С 1850 г. концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере увеличилась на 31 %, а метана – на 149 %, что связано с антропогенным влиянием [31]. Выделение углекислого газа в атмосферу происходит вследствие дыхания наземной растительности (24 %), дыхания почвы (30 %), эмиссии с поверхности океанов (41 %), вулканической деятельности (1 %) и антропогенеза (4 %) [4]. Вследствие деятельности человека в год выделяется 8,0–8,5 Гт CO<sub>2</sub>, из них 3 % занимает сжигание то-

<sup>S</sup> Выбор спонсора научных публикаций осуществляется по усмотрению редакции, любая взаимосвязь между видами деятельности спонсора и результатами научной работы исключается



плива, 1 % — сведение лесов и сельхозпроизводство, а общий выброс CO<sub>2</sub> в мире составляет 204–234 Гт в год [27].

Основным аккумулятором углекислого газа в нашей стране является наземная растительность, связывающая 296 Гт углерода, а почвы удерживают 39,8 Гт углерода, что составляет 13,4 % от аккумуляции растительностью [4]. Продукция аграрного сектора в России поставляет 40,5 млн т CO<sub>2</sub> в год, или 5,2 % от всех выбросов.

Для предотвращения неконтролируемого выброса CO<sub>2</sub> разработана и получает широкое распространение концепция углеродного земледелия — способ ведения сельхозбизнеса, который позволит связывать органический углерод почвы. Это поможет повысить устойчивость почвы к засухе и увеличить продуктивность АПК путём удаления лишнего углерода из атмосферы и сохранения его в почве, где он будет способствовать росту растений [30].

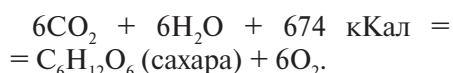
#### **Количество CO<sub>2</sub>, связываемое растениями сахарной свёклы при формировании урожая**

По оценке Martindale [29], сахар, производимый из сахарной свёклы, содержит примерно в 10 раз больше CO<sub>2</sub>, чем высвобождается при его производстве.

Воздух — основной источник углекислоты для растений. Количество CO<sub>2</sub>, поступающего из почвы через корневую систему сахарной свёклы, составляет лишь около 5 % общего количества, которое усваивается растениями в процессе фотосинтеза [16]. Установлено, что увеличение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере стимулирует рост сельскохозяйственных культур. К числу приоритетных направлений агрохимии углерода можно отнести задачи активизации фотосинтеза за счёт оптимизации минерального питания, поддержания

сбалансированных потоков и природной стехиометрии C : N : P : S в агроэкосистемах [21].

Фотосинтез — процесс образования преимущественно безазотистых органических веществ (углеводов) растениями из углекислого газа атмосферы и воды почвы при участии солнечных лучей [13]:



Потребление углекислоты сахарной свёклой в процессе фотосинтеза значительно. Так, при урожайности 400 ц/га корнеплодов потребность в углекислоте выражается в 312 кг в сутки. По расчётам А.А. Нечипоровича, при интенсивном росте 1 га свёклы потребляет около 1 т CO<sub>2</sub> в сутки [2].

В среднем растения содержат 45 % углерода, он занимает второе место в составе сухих веществ (после водорода). На 1 млрд атомов сухого вещества приходится 276 млн атомов углерода [1]. В составе сухой массы углерод находится на первом месте, так как при высушивании удаляется вся вода [15].

По данным L.F. Sánchez-Sastre и Р. Martín-Ramos [32], содержание углерода в сухом веществе корней сахарной свёклы составило 43,4–44,9 %, а 1 га посевов сахарной свёклы связывает CO<sub>2</sub> в диапазоне от 31,5 до 69,4 т/га.

Согласно данным Agrarian Technological Institute, Кастилья-Леон [33], 1 га сахарной свёклы поглощает 46,4 т CO<sub>2</sub>. Возделывание сахарной свёклы (орошение, удобрения, применение побочной продукции, уборка и транспортировка) поставляет в атмосферу 4,9 т/га углекислого газа и ещё 5,1 тонны выделяется при переработке свекловичного сырья. С учётом этого положительный баланс связывания углекислого газа составляет 36,4 т CO<sub>2</sub>/га посевов сахарной свёклы.

По нашим расчётам, при среднем содержании сухого вещества в корнеплодах 25,0 % сахарная свёкла с урожаем основной продукции в 55,0–60,0 т/га в условиях ЦЧР связывает 24,8–28,5 т/га CO<sub>2</sub>. При переработке данного количества корнеплодов и выходе сахара на заводе около 13,5 % [18] будет получено 7,4–8,1 т очищенного сахара.

По данным Anon [25], при производстве сахара на 1 г будет потрачено 0,6 г CO<sub>2</sub> («след белого сахара»). Наш урожай в 55–60 т приведёт к выбросу 4,44–4,86 т углекислого газа при переработке.

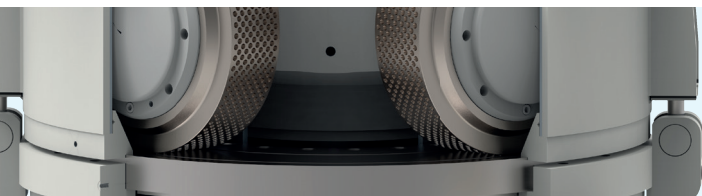
Не стоит забывать, что сахарная свёкла, как любое живое существо, дышит, при этом выделяется углекислый газ. Дыхание растений оценивается как половина от фотосинтеза [26]. Таким образом, в условиях ЦЧР урожай корнеплодов в 55,0–60,0 т/га способен связать 24,8–28,5 т/га CO<sub>2</sub>, но 4,4–4,9 т/га углекислого газа будет затрачено при его переработке.

#### **Участие органического вещества почвы в углеродном обмене**

Поступление углерода в почву из атмосферы и вынос с подземными и поверхностными водами не превышает 1–2 % от его круговорота и не влияет существенно на его баланс. Часть CO<sub>2</sub> находится в почвенном растворе и взаимодействует с карбонатами щелочей и щелочноземельных металлов [16].

Карбонатные чернозёмы связывают в среднем в год 0,63–1,14 г на 1 м<sup>2</sup> углекислого газа, или 6,30–11,4 кг/га [20].

В биогеохимическом круговороте углерода почве принадлежит основная роль, поскольку она служит важнейшим накопителем органического вещества, которое представлено растительным опадом, гумусовыми веществами (предгумусовое органическое вещество, активный гумус, устойчи-



вый гумус), биомассой микроорганизмов и почвенных животных; оно служит одновременно и аккумулятором, и донором CO<sub>2</sub> [4, 20]. При разложении органических соединений в почвах сельскохозяйственных ландшафтов происходит обогащение почвенного и атмосферного воздуха CO<sub>2</sub>, что улучшает условия питания растений [16].

Даже при высокой агротехнике низкое содержание CO<sub>2</sub> может лимитировать продуктивность фотосинтеза. В связи с этим в получении высокого урожая становится очевидной роль органических удобрений, в частности навоза как одного из источников CO<sub>2</sub> [2].

Внесение органических удобрений (навоза КРС, жидкого навоза, птичьего помёта, соломы с азотными удобрениями и целлюлозолитическим микромицетом и др.) в севооборотах с сахарной свёклой является традиционным агроприёмом, обеспечивающим стабилизацию гумусового состояния почв и улучшение питательного режима культур. Все они содержат углерод в разном количестве. Так, в составе соломы содержится 35–40 % углерода в форме органических соединений [15]. Разложение гетеротрофными микроорганизмами органических удобрений и соломы в почве приводит к выделению CO<sub>2</sub>, а часть превращается в органическое вещество почвы. Из общего количества органических веществ навоза (17,5–24,0 %) 72 % минерализуется с образованием углекислого газа и 28 % переходит в состав гумуса [1], по другим данным – 20 % [8]. При внесении 30–40 т/га навоза содержание углекислоты в приземном воздухе возрастает на 100–200 кг, что обеспечивает примерно половину потребности пропашных культур (им нужно 200–300 кг в сутки) [1]. Используя коэффициент гумификации (0,1), можно рассчитать, что из данного количества навоза бу-

дет образовано 3–4 т/га гумуса, это соответствует связыванию 6,4–8,5 углекислого газа (1,3–2,1 т/га CO<sub>2</sub> в год). Часть навоза минерализуется, что равно выделению 17,2–22,9 т/га CO<sub>2</sub>, но поскольку навоз рекомендуется вносить не чаще 1 раза в 4–5 лет, то в год выделится порядка 3,5–4,5 т/га CO<sub>2</sub>.

При урожайности 35,0 т/га корнеплодов растительные остатки культуры остаются в почве в количестве 1,29–2,12 т/га [17]. Современные гибриды, по нашей оценке, оставляют в почве 2,02–3,65 т/га растительных остатков, которые также частично подвергаются минерализации, при этом в атмосферу выделяется углекислый газ. Коэффициент их гумификации равен 0,1 [9], что соответствует образованию 0,20–0,36 т/га гумуса или связыванию 0,81–1,51 т/га углекислого газа, а в результате их минерализации выделится 0,71–1,4 т/га углекислого газа в атмосферу. Применение сидератов, например донника, увеличивает выделение CO<sub>2</sub> на 70 % вследствие дополнительного поступления органического вещества [7].

Современные технологии уборки сахарной свёклы оставляют ботву в почве, где она частично гумифицируется, т. е. поступает в резервуар органического вещества почвы. В случае урожайности 55,0–60,0 т/га корнеплодов при соотношении основной и побочной продукции (если используются средние для культуры дозы удобрения), равной примерно 0,20–0,22 [14], урожайность ботвы составит 11,0–13,2 т/га. При её гумификации будет связано 2,34–2,8 т/га CO<sub>2</sub> и выделится 4,0–4,9 т/га его в атмосферу. Для почв со стабильным содержанием гумуса количество образующегося CO<sub>2</sub> примерно соответствует количеству поступающих в почву растительных остатков. Растительный опад и минерализа-

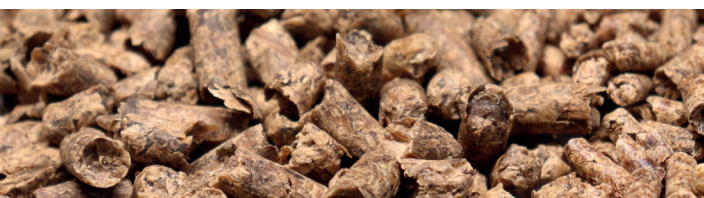
ция органического вещества определяют баланс углерода в почвах. В почвах агроландшафтов отмечается в основном отрицательный баланс органических соединений [16]. В свекловичном севообороте минерализация гумуса составляет примерно 0,01 % в год [5], что соответствует выделению 42,4 кг в год (0,042 т/га).

Таким образом, роль органического вещества чернозёмных почв свекловичных севооборотов в круговороте CO<sub>2</sub> состоит в связывании значительных количеств углекислого газа (при недопущении масштабной минерализации гумуса), при этом внесение органических удобрений не только пополняет запасы органики в почве, но и способствует выделению некоторого количества CO<sub>2</sub> в атмосферу.

#### **Вклад основных приёмов возделывания культуры в основные статьи баланса CO<sub>2</sub>**

Основываясь на литературных данных, можно предположить, что баланс углекислого газа в севооборотах с сахарной свёклой складывается из поглощения культурой (урожаем продукции), гумификации органического вещества навоза и растительных остатков, фиксации карбонатами почвы (приходные статьи), а также разложения растительных остатков, гумуса, навоза и других органических удобрений, дыхания почвы (увеличивается при внесении минеральных удобрений), известкования, выноса поверхностными и подземными водами (расходные статьи).

Действие минеральных удобрений на эмиссию CO<sub>2</sub> опосредованное, так как они практически не содержат углерода. Использование минеральных удобрений не вносит прямого вклада в баланс углерода в почве, но увеличивает выделение углекислого газа из почвы в 1,5–2,0 раза вследствие





того, что питательные вещества, в частности азот, не расходуются полностью и достаются микроорганизмам, которые при достаточном количестве углерода резко усиливают свою активность [6, 21, 22], а комплексное применение минеральных удобрений и навоза увеличивает продуцирование  $\text{CO}_2$  в 1,5–1,6 раза [23].

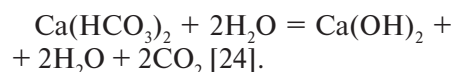
В исследованиях R. Manderscheid и A. Racholski [27] отмечено, что увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  при одновременном улучшении азотного питания повышает урожайность сахарной свёклы.

Нормальное азотно-фосфорно-калийное питание увеличивает урожайность сахарной свёклы и тем самым повышает захват углерода [23].

Применение извести в севооборотах с сахарной свёклой – обязательный процесс для оптимизации кислотности на большинстве почв районов свеклосеяния, но оно способствует дополнительному поступлению  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Это происходит при нейтрализации почвенной кислотности: на первом этапе при внесении карбоната кальция с участием углекислого газа почвы и воды происходит образование бикарбоната кальция:



В дальнейшем бикарбонат кальция подвергается гидролизу, одним из продуктов реакции является углекислый газ:



Так, при внесении средних доз извести (7–10 т/га) возможна эмиссия 3,8–5,5 т/га углекислого газа, но поскольку данный агроприём проводят 1 раз в 6–7 лет, то за год выделится не более 0,54–0,92 т/га  $\text{CO}_2$ .

Таким образом, основные агроприёмы возделывания культуры поставляют в атмосферу порядка 8,7–11,7 т/га углекислого газа в год, при этом происходит связывание в органическом веществе почвы (при условии внесения навоза) порядка 4,4–11,2 т/га  $\text{CO}_2$  в год (по разным оценкам).

#### **Изменение эмиссии почвенного $\text{CO}_2$ в свекловичных агроценозах**

Дыхание почвы является основным источником  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Оно включает в себя дыхание корней, микроорганизмов и почвенных животных. Почвенный покров своей газовой функцией (по отношению к углероду) выполняет в биосфере важнейшую роль поддержания современного оптимального климата [12].

Эмиссия  $\text{CO}_2$  – один из показателей биологической активности почвы. Чем плодороднее почва, тем выше на ней урожай, тем интенсивнее её дыхание [3]. Микробное дыхание почвы составляет 63 % от общего выделения ею углекислого газа [4].

Уменьшение почвенной и агрогенной эмиссии парниковых газов в атмосферу и повышения углеродсеквестрирующего потенциала агроэкосистем является одним из приоритетных направлений агрохимии углерода [21].

По данным А.А. Борина, А.Э. Лощининой [3] на дерново-среднеподзолистой почве пропашные выделяют 61–64 мг  $\text{CO}_2/\text{м}^2$  в час, что составляет за сезон не менее 1,36 т/га  $\text{CO}_2$ .

Согласно исследованиям, проведённым во ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, в контрольном варианте в сутки с 1 м<sup>2</sup> почвы выделялось 9,5 г  $\text{CO}_2$  [22], что за тёплый период с 1 га составило, возможно, 17,1 т/га, а совместное внесение 4,0 т/га соломы с азотом обеспечивало выделение 3,9 г в сутки

с 1 м<sup>2</sup> почвы [22], что, возможно, составило за тёплый период 7,02 т/га. Поскольку в звене «чёрный пар – озимая пшеница – сахарная свёкла» заплата соломы проводится 1 раз, то данный показатель равен 2,34 т/га в год, часть соломы гумифицируется со связыванием 0,9–1,1 т/га углекислого газа.

#### **Выводы**

Баланс углекислого газа в севооборотах с сахарной свёклой складывается:

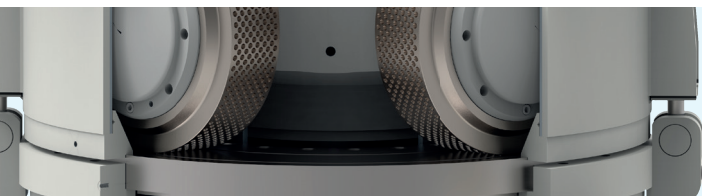
- из поглощения  $\text{CO}_2$  основной и побочной продукцией, растительными остатками, а также закрепления при гумификации навоза, фиксации карбонатами почвы, поступления с осадками из атмосферы (приходные статьи);

- разложения растительных остатков и гумуса, дыхания почвы (увеличивается при внесении минеральных удобрений), известкования, разложения части навоза, выноса поверхностными и подземными водами, минерализации гумуса (расходные статьи).

Сухое вещество сахарной свёклы при урожайности 55,0–60,0 т/га в условиях ЦЧР способно связывать основной продукцией (корнеплодами) около 24,8–28,5 т/га  $\text{CO}_2$ .

Основные агроприёмы возделывания культуры (заплата ботвы и растительных остатков, известкование, внесение навоза и минеральных удобрений) способствуют эмиссии в атмосферу порядка 8,7–11,7 т/га углекислого газа в год, при этом происходит связывание в органическом веществе почвы (при условии внесения навоза) порядка 4,4–11,2 т/га  $\text{CO}_2$  в год (по разным оценкам).

Снижение минерализации запасов гумуса, органических удобрений, растительных остатков с помощью рациональной обработки почв, внесения научно обоснованных доз удобрений, оптимизации



почвенной кислотности способно снизить эмиссию CO<sub>2</sub> в почвах свекловичных севооборотов.

Наиболее точный расчёт баланса углекислого газа в свекловичных севооборотах возможен при проведении детальных исследований эмиссии CO<sub>2</sub> из почв зоны свекло-сеяния в европейской части России при внесении минеральных удобрений, навоза, соломы, известкования, включая разные периоды развития культуры, а также сопоставления эмиссии из почвы под сахарной свёклой, зерновыми культурами и природными биоценозами.

Выделение CO<sub>2</sub> при переработке сахарной свёклы на заводах в ЦЧР будет оценено после соответствующих расчётов.

По предварительным расчётам баланс углекислого газа при возделывании и переработке сахарной свёклы в ЦЧР является либо отрицательным (так как большое количество CO<sub>2</sub> связывается продукцией), либо близким к равновесному, т. е. свекловодство не является загрязнителем атмосферы выбросами CO<sub>2</sub>, а при определённых условиях, оно, возможно, соответствует требованиям карбонового земледелия.

#### Список литературы

1. Агрохимия / Под ред. П.М. Смирнова и А.В. Петербургского. — М.: Колос, 1975. — 512 с.
2. Биологические особенности сахарной свёклы. AGRO-Portal. su [Электронный ресурс] // URL: <https://agro-portal.su/saharnaya-svekla/2436-biologicheskie-osobennosti-saharnoy-svekly.html> (дата обращения: 13.02.2022)
3. Борин, А.А. Обработка почвы, её биологические свойства и урожай / А.А. Борин, А.Э. Лощина // Вестник АПК Верхневолжья. — 2019. — № 1(45). — С. 22–26.
4. Заварзин, Г.А. Почва как главный источник углекислоты и ре-

зервуар органического углерода на территории России / Г.А. Заварзин, В.Н. Кудеяров // Вестник Российской академии наук. — 2006. — Т. 76. — № 1. — С. 14–29.

5. Громовик, А.И. Трансформация гумусного состояния чернозёма выщелоченного при длительном применении удобрений в зерно-свекловичном севообороте: специальность 03.00.27 «почвоведение»: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Аркадий Игоревич Громовик; Воронежский гос. аграрн. ун-т. — Воронеж, 2009. — 24 с.

6. Ерёмин, Д.И. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на эмиссию углекислого газа пахотного чернозёма лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин // Молодой учёный. — 2016. — № 12 (116). — С. 1062–1064.

7. Кашанов, Р.Ш. Эмиссия углерода углекислого газа почвенным покровом Башкортостана / Р.Ш. Кашанов // Учёные записки Казанского государственного университета. — Т. 150. — Кн. 3. — Естественные науки. — 2008. — С. 98–102.

8. Кротких, Т.А. Воспроизводство и оптимизация плодородия почв при возделывании сельскохозяйственных культур в севооборотах и выводных полях / Т.А. Кротких, Л.А. Михайлова. — Пермь: Пермская ГСХА, 2009. — 24 с.

9. Корчагин, А.А. Система удобрений / А.А. Корчагин, М.А. Мазиров, Н.А. Комарова. — Владимир: ВлГУ, 2018. — 115 с.

10. Курганова, И. Экосистемы России и глобальный бюджет углерода / И. Курганова, В. Кудеяров // Наука в России. — 2012. — № 5 (191). — С. 25–32.

11. Курганова, И.Н. Численная оценка среднемесячного дыхания почв с помощью t&r модели при различной обеспеченности осадками / И.Н. Курганова, В.О. Лопес Де Гереню. — В сб.: Математическое моделирование в эколо-

гии: матер. Пятой Национальной научн. конф. с междунар. участием. — 2017. — С. 109–110.

12. Матвеева, Е.В. Интенсивность выделения CO<sub>2</sub> в экосистемах Предбайкалья / Е.В. Матвеева, Ш.К. Хуснидинов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. — 2013. — № 4 (33). — С. 82–88.

13. Медведев, С.С. Физиология растений / С.С. Медведев. — СПб.: изд-во СПб. ун-та, 2004. — 336 с.

14. Минакова, О.А. Продуктивность гибридов сахарной свёклы отечественной и зарубежной селекции на разных фонах основного удобрения в ЦЧР / О.А. Минакова, Л.В. Александрова, Т.Н. Подвигина // Сахарная свёкла. — 2020. — № 1. — С. 24–27.

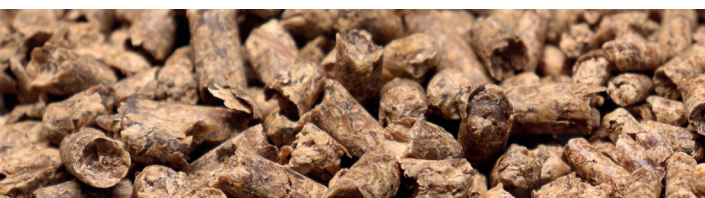
15. Минеев, В.Г. Агрохимия: классический университетский учебник для стран СНГ / В.Г. Минеев, В.Г. Сычѳ, Г.П. Гамзиков [и др.]. — М.: ВНИИА, 2017. — 854 с.

16. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: МГУ, 1992. — 399 с.

17. Павлюченко, А.У. Накопление и разложение растительных остатков в почве основных звеньев свекловичных севооборотов лесостепи Центрально-Чернозёмной зоны: специальность 06.01.01: Общее земледелие, растениеводство: автореф. дисс. ... канд. с/х. наук / Павлюченко Анатолий Устинович; Рамонь, 1986. — 18 с.

18. Путилина, Л.Н. Повышение технологического качества сахарной свёклы в результате внекорневого внесения препарата «БиоТерра Антистресс» / Л.Н. Путилина, Н.А. Лазутина // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2020. — № 3. — С. 9–19.

19. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электрон-



ный ресурс] // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1901908> (дата обращения: 21.02.2022)

20. Динамика педогенных карбонатов в некоторых почвах и их роль в качестве буферного резервуара для атмосферной CO<sub>2</sub> / Я.Г. Рысков, А.В. Борисов, А.С. Олейник [и др.] // Климат и цикл углерода: прошлое и современность. — М.: Геос, 1999. — С. 37–39.

21. Семёнов, В.М. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты / В.М. Семёнов, Т.Н. Лебедева // Агрохимия. — 2015. — № 11. — С. 3–12.

22. Оценка действия углекислого газа, выделяющегося при запашке соломы зерновых культур с *Humicola fuscoatra*, на фотосинтетические процессы и продуктивность сахарной свёклы / И.В. Черепухина, Н.В. Безлер, И.И. Васенев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. — 2018. — Т. 32. — № 6. — С. 34–37.

23. Шилова, Н.А. Динамика выделения CO<sub>2</sub> в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах / Н.А. Шилова // Почвоведение и агрохимия. — 2014. — № 1 (52). — С. 104–113.

24. Агрохимия / Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1989. — 639 с.

25. Anon. Corporate sustainable report. British Sugar UK & Ireland, Techn Bull. — 2010.

26. The Carbon Cycle. Earth Observatory [Электронный ресурс] // URL: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/page1.php> (дата обращения: 14.02.2022)

27. Houghton, R.A. Revised estimates of annual net flux of carbon

to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000 / R.A. Houghton // Tellus. — 2003. — 55B. — P. 378–390.

28. Manderscheid, R. Effect of free air carbon dioxide enrichment combined with two nitrogen levels on growth, yield and yield quality of sugar beet: Evidence for a sink limitation of beet growth under elevated CO<sub>2</sub> / R. Manderscheid, A. Pacholski, H.-J. Weigel // European Journal of Agronomy. — V. 32. — Is. 3. — 2010. — April. — P. 228–239.

29. Martindale, W. The sustainability of the sugar beet crop — the potential of add value / W. Martindale // British Sugar Beet Review. — 2013. — 81: 49–52.

30. Medvedeva, A. Карбоновое земледелие и его перспективы / А. Medvedeva. Agro XXI: агропромышленный портал [Электронный ресурс] // URL: <https://www.agrox.ru/stati/karbonovoe->

[zemledelie-i-ego-perspektivy.html](http://zemledelie-i-ego-perspektivy.html) (дата обращения: 20.02.2022)

31. Roman, R.A. Climate Change and Consumer Finance: A Very Brief Literature Review / R.A. Roman, J.J. Canals-Cerdá. www.philadelphiafed.org [Электронный ресурс] // URL: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter7-1.pdf> (дата обращения: 17.02.2022)

32. Impact of Climatic Variables on Carbon Content in Sugar Beet Root / L.F. Sánchez-Sastre, P. Martín-Ramos, L.M. Navas-Gracia [et al.] // Agronomy. — 2018. — № 8. — P. 147; doi:10.3390/agronomy8080147.

33. Stady: Beet farming captures over 46 t of CO<sub>2</sub> per ha // Sugar Industry. — 146 (71). — December. — 2021. — P. 662.

34. Sustainability of the Sugar Beet / P. Stevanato, Ch. Broccanello, C. Chiodi [et al.] // Sugar Tech. — 2019. — V. 21. — № 5. — P. 703–716.

**Аннотация.** Проблема повышения выделения парниковых газов, включая CO<sub>2</sub>, приводящего к негативным изменениям климата, является результатом деятельности человека, в том числе в сельском хозяйстве. Возделывание сахарной свёклы в ЦЧР способствуют формированию отрицательного баланса углекислого газа, это свидетельствует об отчуждении некоторого количества CO<sub>2</sub> из атмосферы и подтверждает, что свекловодство не является загрязнителем окружающей среды выбросами CO<sub>2</sub> и по многим параметрам соответствует требованиям карбонового земледелия. Предупреждение дегумификации чернозёмов, внесение рациональных доз удобрений, ослабление минерализации органических удобрений, заделка пожнивных и корневых остатков способствует снижению эмиссии углекислого газа из почв свекловичных севооборотов.

**Ключевые слова:** углекислый газ, эмиссия, углерод, сахарная свёкла, растительные остатки, солома, навоз, гумификация, минерализация.

**Summary.** Problem of increase in evolving of greenhouse gases including CO<sub>2</sub> that leads to negative climate changes is a result of human activity, in agriculture as well. Cultivation of sugar beet in the Central Black-Earth Region promotes formation of carbon dioxide negative balance that testifies to taking of some CO<sub>2</sub> quantity from atmosphere and confirms that beet growing does not pollute the environment with CO<sub>2</sub> emissions and meets the requirements of carbon farming according to many parameters. Prevention of black earth soil de-humification, application of rational fertilizer doses, reduction of organic fertilizers' mineralization, and plowing of after-harvesting and root residues in soil promote decrease of carbon dioxide emission from beet crop rotations.

**Keywords:** carbon dioxide, emission, carbon, sugar beet, plant residues, straw, manure, humification, mineralization.

