

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ
AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL
SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1250

УДК 631.422



Научная статья

ДЕПОНИРОВАНИЕ
ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В АГРОБИОГЕОЦЕНОЗАХ
УМЕРЕННО-ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ АЛТАЯ

А.Е. Кудрявцев, Е.С. Ваганов

Обоснование. *Депонирование органического углерода в биогеоценозах зависит от природных условий. В агробиоценозе наряду с природными условиями этот процесс активизируют антропогенные действия в виде системы земледелия, изучив, которые можно взять за основу при организации карбонового земледелия.*

Цель исследования – *установить интенсивность процесса депонирования органического углерода агробиогеоценозами в умеренно-засушливой степи Алтая.*

Научная новизна. *Установлено, что в умеренно-засушливой степи Алтая содержание органического углерода в гумусовом горизонте агрочерноземов южных и обыкновенных достоверно деградировало в результате ветровой и водной эрозии. Органический углерод перемещается в другие геохимические резервуары, а его роль, определяющая плодородие уменьшается. В агроценозах яровой пшеницы, льна масличного, рапса ярового определен постфотосинтетический сток углерода, который находится в интервалах от 9,5 до 65 т/га. Выявлено, что рапсом поглощается углекислого газа в 4 раза больше в сравнении с яровой пшеницей и на 58%, чем льном масличным. В этих агроценозах определена мортмасса, которая принимает участие в дальнейшем депонировании органического углерода, она соответственно составляет от 2,9 до 3,4т/га, 5,8-6,5т/га, 18,8т/га. Оценивая экосистему в целом, выявлено, что наибольшие запасы органического углерода в двадцатисантиметровом слое сформировали биогеоценозы солончаков (109 т/га) и лугово-болотных почв (108 т/га), агропочвы на 40-45% содержат меньше органического углерода, чем естественные экосистемы.*

Материалы и методы. *Объектом исследований послужили почвы умеренно-засушливой степи Алтая, которые являются хранилищем органического*

углерода. Использовали архивные материалы ОАО «АлтайНИИГипрозем» и результаты собственных исследований 2023 года. Органический углерод определяли методом Тюрина, чистую первичную продукцию по методике А.А. Титляновой, при этом учитывали продукционную, надземную и внутривидовую мортмассу, позволяющую определить потенциальный приход органического вещества агроценозами.

Результаты. Содержание органического углерода в гумусовом горизонте за 40 лет достоверно деградировало на 23-32% в южных и обыкновенных агроценозах, в меньшей степени в выщелоченных. В экосистеме наибольшими запасами органического углерода в двадцатисантиметровом слое характеризуются биогеоценозы солончаков и лугово-болотных почв, затем в убывающей последовательности серые лесные, луговые, лугово-черноземные, солонцы. Агропочвы содержат на 40-45% меньше органического углерода, чем естественные экосистемы биогеоценозов солончаков и лугово-болотных почв. В агроценозах яровой пшеницы, льна масличного, рапса ярового определен постфотосинтетический сток углерода. При этом рапс поглощает углекислого газа в 4 раза больше в сравнении с яровой пшеницей и на 58%, чем льном масличным.

Заключение. Результаты исследований являются начальным этапом организации карбонового земледелия, позволяющие установить интервалы углеродных единиц.

Ключевые слова: депонирование; постфотосинтетическое депонирование агропочвы; биогеоценозы; агроценозы; система земледелия; no-till; традиционная система земледелия; мортмасса

Для цитирования. Кудрявцев А.Е., Ваганов Е.С. Депонирование органического углерода в агробиогеоценозах умеренно-засушливой степи Алтая // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 274-289. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1250

Original article

DEPOSITION OF ORGANIC CARBON IN AGROBIOGEOCENOSES OF THE TEMPERATE ARID STEPPE OF ALTAI

A.E. Kudryavtsev, E.S. Vaganov

Background. The deposition of organic carbon in biogeocenoses depends on natural conditions. In agrobiocenosis, along with natural conditions, this process

is activated by anthropogenic actions in the form of an agricultural system, having studied which can be taken as a basis for the organization of carbon farming.

Purpose. The aim of the study is to establish the intensity of the process of deposition of organic carbon by agrobiogeocenoses in the moderately arid steppe of Altai.

Materials and methods. The object of research was the soils of the moderately arid Altai steppe, which are a repository of organic carbon. We used archival materials of JSC AltayNII Giprozem and the results of our own research in 2023. Organic carbon was determined by the Tyurin method, pure primary products according to the method of A.A. Titlyanova, at the same time, production, aboveground and subsurface mortmass were taken into account, which makes it possible to determine the potential arrival of organic matter by agrocenoses.

Results. The content of organic carbon in the humus horizon has significantly degraded by 23-32% over 40 years in southern and ordinary agrochernozems, to a lesser extent in leached ones. In the ecosystem, the largest reserves of organic carbon in a twenty-centimeter layer are characterized by biogeocenoses of salt marshes and meadow-marsh soils, followed in decreasing sequence by gray forest, meadow, meadow-chernozem, salt marshes. Agro-soils contain 40-45% less organic carbon than the natural ecosystems of biogeocenoses of salt marshes and meadow-marsh soils. Post-photosynthetic carbon runoff has been determined in the agrocenoses of spring wheat, oilseed flax, and spring rapeseed. At the same time, rapeseed absorbs 4 times more carbon dioxide compared to spring wheat and 58% more than oilseed flax.

Conclusion. The results of the research are the initial stage of the organization of carbon farming, allowing you to set the intervals of carbon units.

Keywords: deposition; post-photosynthetic deposition of agro-soil; biogeocenoses; agrocenoses; farming system; no-till; traditional farming system; mortmass

For citation. Kudryavtsev A.E., Vaganov E.S. Deposition of Organic Carbon in Agrobiogeocenoses of the Temperate arid Steppe of Altai. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 274-289. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1250

Введение

Природные потоки углекислого газа в биосфере начинается с процесса фотосинтеза, формирующего органическую часть, которая в дальнейшем депонируется в почву. Установлено, что в процессе фотосинтеза мировой фонд углерода составляет 120 млрд. т в год, растения на собственное дыхание, в том числе и корневое, расходуют около половины

этой величины [15; 18]. Оставшаяся часть представляет чистую первичную продукцию фотосинтеза, то есть биомассу растений [8]. Основными естественными поглотителями углерода считают океаны, леса и почву, поскольку они способны поглощать из атмосферы от 9,5 до 11 Гт углекислого газа в год без учета агроценозов, торфяников, болот. В настоящее время ежегодные выбросы этого газа составляют более 38,0 Гт [4]. Почва признана уникальным хранилищем и поглотителем активного углерода и в тоже время многие исследователи указывают на то, что антропогенные нагрузки на агропочвы приводят к глобально значимым изменениям запасов органического углерода. По некоторым оценкам агропочвы содержат на 25–75% меньше органического углерода, чем их аналоги в ненарушенных или естественных экосистемах [6; 16]. Бесспорно, у деградированных агропочв потенциал секвестрации органического углерода агроценозами ниже, чем у ненарушенных. Но сегодня мы научились регулировать процессы деградации, роста и развития растений за счет технологических приемов, генетического потенциала сорта, минеральных удобрений, средств защиты растений и многого другого. Научно-технический прогресс в аграрном секторе свидетельствует о возможном восстановлении ранее утраченных запасов почвенного углерода. Понимаем, что процесс восстановления плодородия и, как следствие, запасов органического углерода длительный и требует научных исследований.

Исходя из вышесказанного, целью исследования является установить интенсивность процесса депонирования органического углерода агробиогеоценозами в умеренно-засушливой степи Алтая. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: определить биогенно-аккумулятивные возможности агроценозов в депонировании органического вещества; установить интенсивность почвообразовательных процессов, оказывающих воздействие на депонирование органического вещества в агропочвах умеренно-засушливой степи Алтая; провести сравнительную оценку депонирования органического углерода агробиогеоценозов исследуемой территории.

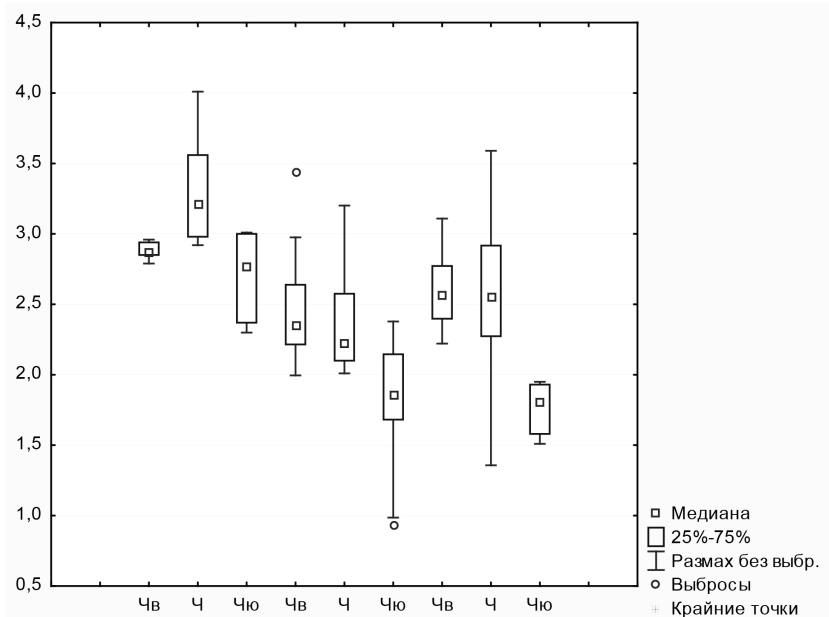
Материал и методы

Объектом исследований заявленной темы являются агропочвы умеренно-засушливой степи Алтая, которые служат хранилищем органического углерода, а его запасы могут либо пополняться в процессе секвестрации, либо уменьшаться в результате деградации, что зависит

от природных и антропогенных факторов. Для установления процессов депонирования органического углерода и создания активного гумуса в агропочвах использовали сравнительно-географический, сравнительно-аналитический и стационарный методы исследования. За основу исследований были взяты материалы Академического издания «Почвы Алтайского края» [10], архивные материалы по корректировке почв ОАО «АлтайНИИГипрозем», проводимые в 1990–2000 гг. [9] и материалы собственных исследований 2023 года. Текущие исследования процессов связывания углерода были организованы на полигонах наблюдений по no-till и традиционной системе земледелия агроценозов яровой пшеницы, льна масличного и ярового рапса. Поскольку начальным этапом формирования связывания углерода является фотосинтез, а его фотохимическая реакция определяет надземную массу, поэтому в агроценозах учитывали сорт (гибрид), норму высева, ширину междурядий, глубину посева семян, а также систему земледелия, предусматривающую технологические операции, регулирующие питательный режим, а следовательно депонирование углерода в надземную массу. Агрохимическую диагностику агропочв проводили в аккредитованной лаборатории САС «Алейская», почвенную в лаборатории кафедры почвоведения и агрохимии. Для определения чистой первичной продукции использовали методику А.А. Титляновой, которая позволила определить скорость формирования первичной продукции, состоящей из надземной и подземной частей [12]. Для подтверждения достоверности эволюционных изменений рассматриваемых свойств почв использовали программу Statistica 10.0.

Результаты и обсуждение

Ещё в XIX веке было обосновано, что антропогенные факторы из локальных превращаются в глобальные и активизируют экологические проблемы в биосфере [2]. Наиболее негативными изменениями в агропочвах считают снижение в них органического углерода и в тоже время его запасы в метровой толще составляют 1,417 Гт, это практически в 2 раза больше, чем в атмосфере и в 10 раз выше уровня ежегодных антропогенных выбросов в атмосферу [5]. Имеющиеся в нашем распоряжении архивные материалы и проводимые в текущем году исследования позволяют проследить трансформацию органического углерода пахотных горизонтов (0–20см) в агропочвах основных подтипов, которые занимают 63% или 4,3млн. га умеренно-засушливой степи Алтая (рисунок 1).



Годы	1959			2000			2023		
	Чв	Ч	Чю	Чв	Ч	Чю	Чв	Ч	Чю
Среднее	2,88	3,34	2,70	2,43	2,55	1,82	2,50	2,59	1,76
Медиана	2,87	3,21	2,77	2,35	2,22	1,86	2,56	2,55	1,81
Ст. откл. набл.	0,07	0,45	0,32	0,32	0,30	0,41	0,27	0,50	0,18
N набл. 1-41	5	5	6	41	31	27	24	18	16
Сумма набл.	14,4	16,6	16,2	99,5	72,8	49,1	62,3	46,5	10,58
МИН. набл.	2,79	2,92	2,30	2,00	2,01	0,93	2,22	1,36	1,51
МАКС. набл.	2,96	4,01	3,01	3,43	3,20	2,38	3,11	3,59	1,95
_25 % набл. 1-41	2,85	2,98	2,37	2,22	2,10	1,68	2,40	2,27	1,58
_75 % набл. 1-41	2,94	3,56	3,00	2,64	2,58	2,15	2,77	2,92	1,93

Рис. 1. Трансформация органического углерода агрочернозёмов умеренно-засушливой степи Алтай в пахотном горизонте (0-20см)

Исследования, проводимые в середине прошлого века, констатируют, что содержание органического углерода в агрочернозёмах находилось в интервале от 2,3 до 4,5%, почвенная корректировка 2000-х гг. позволила определить, что его содержание в агрочернозёмах южных и обыкновенных достоверно деградировала на 23-32%, в меньшей степени подвержены

этим процессам агрочерноземы выщелоченные. Безусловно, деградационные процессы активизировались после освоением целинных и залежных земель, в виде ветровой и водной эрозии, участились пыльные бури и проявления линейной эрозии. Результат такой трансформации органического углерода очевиден, изменения произошли менее чем за полвека. Унесенный ветром или смытый потоками талых вод органический углерод перенесен в другой геохимический резервуар и продолжает участвовать в геологическом круговороте, а вот его роль, определяющая плодородие агропочв, утеряна. По мнению В.М. Семенова, восстановление ранее утраченных запасов органического углерода в агропочвах посредством заделки растительной биомассы в почву, из разряда теоретических абстракций развилась в реальную природоохранную инициативу с соответствующим комплексом агrobiотехнологий [7; 17].

Наши исследования, проводимые в 2023 году, позволяют сделать вывод, что содержание органического углерода в агрочерноземах в последние двадцать лет стабилизировалось. Это обусловлено тем, что в хозяйствах используют ресурсосберегающую no-till систему земледелия [13].

Образование органического вещества принадлежит листовому аппарату, который по мнению К.А. Тимирязева прикоснулся ко всему живому в этом мире [14]. Фотосинтез это природный процесс, происходящий в клетках содержащих хлорофилл. При участии фотонов света синтезируются органические вещества из неорганических, в результате этого атом углерода связывается с другими атомами минеральных компонентов, поглощаемых из почвы корневой системой растений. Это позволяет образовывать цепочки более сложных органических соединений, таких как белки, жиры, углеводы, органические кислоты, витамины. Зная биологический потенциал, сформированный фотосинтезом, можно оценить величину связывания углекислого газа разноплановыми агроценозами (рисунок 2).

Из рассматриваемых агроценозов поглощение углекислого газа рапсом в 4 раза больше в сравнении с яровой пшеницей и на 58% больше, чем льном масличным, что позволяет соотнести количество поглощаемого углекислого газа между рассматриваемыми культурами 4:1:1,6, безусловно, в таком же соотношении формируется надземная фитомасса. Постфотосинтетическое перераспределение углерода сопровождается его накоплением в «резервуаре вегетативной массы», можно считать, что это «первое» депо углерода, которое постоянно пополняется. Временной отрезок формирования фитомассы устанавливается агроценозом, сортовыми особенностями, природными условиями и антропогенными действиями.

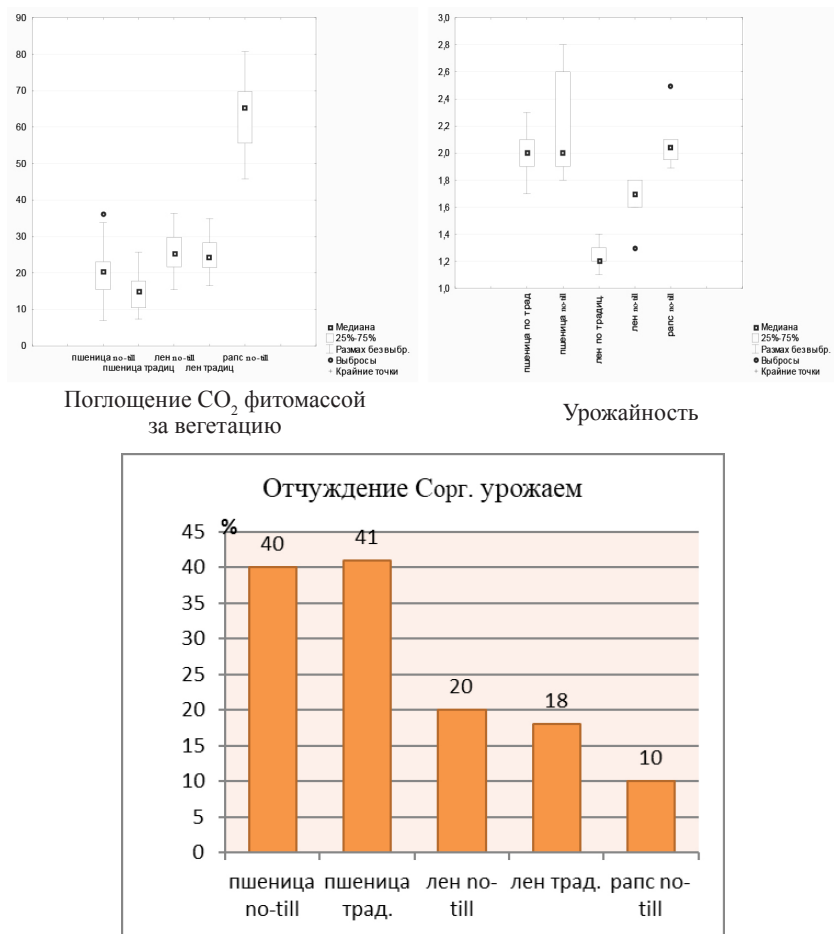


Рис. 2. Статистические показатели поглощения углекислого газа фитомассой растений и урожайность яровой пшеницы, льна масличного, ярового рапса

Транспортировка углерода в репродуктивные органы определяется сформированной морфогенетической программой развития, у однолетних злаков она начинается с образования колоса, а закладывается в конце фазы выхода в трубку, у льна масличного с коробочки, а у рапса ярового со стручков. С этого времени транспортируется значительная часть образованных в процессе фотосинтеза ассимилянтов в репродуктивные органы. Природные

условия в совокупности с антропогенными действиями позволили сформировать в текущем году урожайность ярового рапса возделываемого по системе земледелия no-till 2,1 т/га, льна масличного по no-till – 1,7 т/га, по традиционной системе земледелия 1,3 т/га, яровой пшеницы соответственно – 2,2 т/га, 2,0 т/га. Зная фитомассу сформированную агроценозами, можно установить количество отчуждаемой продукции с поля, т. е. той части сформированного органического вещества, которое не будет участвовать в дальнейшем депонировании его в агропочву, но в круговороте углерода ее участие имеет место быть. Для яровой пшеницы отчуждение с поля в виде урожая составляет 40-41%, для льна масличного 18-20%, для рапса 10%.

Мертвая часть органического вещества, которая принимает участие в дальнейшем депонировании углерода в почву, соответственно составляет 2,9-3,4т/га, 5,8-6,5т/га, 18,8т/га, это не означает, что везде и всегда будет формироваться такая мортмасса. Ее формирование в агроценозе, как и урожайность, определяют природные и антропогенные условия. Превращение сформированной в агроценозе надземной мортмассы и корневой системы в органический углерод непредсказуемый процесс, в котором эмиссия парниковых газов может составлять от 28 до 50 % и более в зависимости от доз азотных удобрений, нулевой обработки [19]. Безусловно, у корневой системы агроценозов потенциальные возможности депонирования органического вещества в углерод гораздо выше, чем у надземной части. Немаловажно и то, что агроценозы формируют и разную продукционную, надземную и внутрпочвенную массу, соответственно яровой рапс 13, 59, 28%, лен масличный 41, 30, 29%, пшеница яровая 42, 36, 22%.

Таким образом, при депонировании углерода в агропочву мортмасса рапса в полтора раза выше, чем у яровой пшеницы и льна масличного. Однако, по мнению ряда исследователей, приращение органической массы требует определенного времени не менее 100 лет, чтобы считать процесс минерализации органического вещества завершенным по сравнению с исходным [20].

Созданный человеком агроценоз невозможно изолировать, он сформирован экосистемой, которая продолжает оказывать влияние на его продуктивность и развитие биогеоценозов. За основу, позволяющую определять границы биогеоценоза, взят почвенный покров. Для оценки сформированных запасов органического углерода в 20см слое были проанализированы архивные материалы почвенной корректировки, проводимой в 2000 году базовых хозяйств, где были организованы полигоны наблюдений. Биогеоценозы в выборке рассматривали на уровне типа, обезличив таксономические единицы подтипа, рода, вида, разновидности. Отдельно

анализировались экосистемы трех базовых хозяйств, которые в дальнейшем объединили в одну выборку. Как видно из рисунка 3 наименьшими запасами органического углерода характеризуются аллювиальные биогеоценозы 35 т/га, в которых родовые и видовые признаки будут определять возможность сформировать больший или меньший интервал содержания органического углерода, впрочем, так же, как и для всех остальных биогеоценозов. Наибольшими запасами органического углерода характеризуются биогеоценозы солончаков (109 т/га) и лугово-болотных почв (108 т/га), затем в убывающей последовательности серые лесные 78 т/га, луговые 75 т/га, лугово-черноземные 56 т/га, солонцы 46 т/га, агрочерноземы обыкновенные, выщелоченные и южные соответственно 49,46,44 т/га.

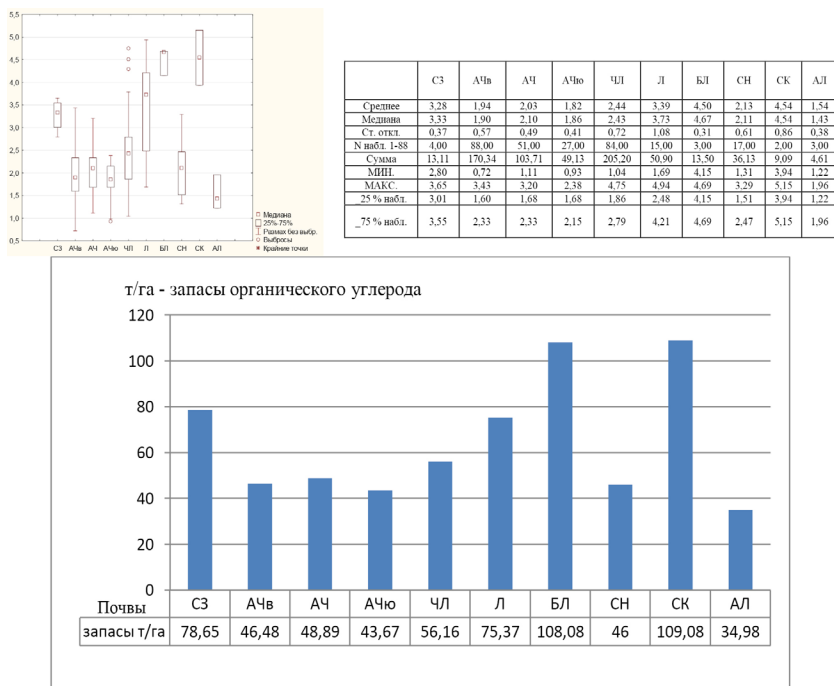


Рис. 3. Запасы органического углерода в слое 0-20 см биогеоценозов исследуемой территории, на которой организованы опорные полигоны наблюдений: С_з, серые лесные, АЧ^в агрочерноземы выщелоченные, АЧ-агрочерноземы обыкновенные, АЧ^ю агрочерноземы южные, ЧЛ-лугово-черноземные, Л-луговые, БЛ-лугово-болотные перегонные, СН-солонцы, СК-солончаки, АЛ - аллювиальные

Такое распределение органического углерода означает, что плодородие агропочв, как и рассматриваемых биогеоценозов не следует отождествлять с органическим углеродом. Плодородие в агропочвах проявляется только при взаимодействии компонентов, его характеризующих, т.е. совокупностью свойств, определенных почвообразовательным процессом. Активность процесса связывания органического углерода и его депонирование в биогеоценозах определяется совокупностью факторов, формирующих экосистему.

По мнению Инишевой Л.И., экосистемы России располагаются в убывающей последовательности болота, степи, леса [20]. В болотах органического углерода примерно в пять раз больше, чем в лесных угодьях, и в 500 раз больше, чем в океанах, хотя они занимают около 2% поверхности суши, а хранят более 20% всего углерода, поглощаемого экосистемами нашей планеты [1; 3; 11].

Заключение

Депонирование органического углерода в биогеоценозах естественный почвообразовательный процесс, интенсивность которого определяется природными условиями. В совокупности с природными факторами процесс депонирования в агробиогеоценозах дополнительно стимулирует или подавляет избранная система земледелия. К сожалению, антропогенный пресс, в агропочвах провоцирует процессы деградации, унесенный ветром или смытый потоками талых вод органический углерод переносится в другие геохимические резервуары, а его роль, определяющая плодородие уменьшается. Архивные материалы позволили установить, что в умеренно засушливой степи Алтая с 1959 по 2000 год содержание органического углерода в гумусовом горизонте агрочерноземов южных и обыкновенных достоверно деградировало на 23-32%, в меньшей степени подвержены этим процессам агрочерноземы выщелоченные. В агроценозах яровой пшеницы, льна масличного, рапса ярового определен постфотосинтетический сток углерода, который находится в интервалах от 9,5 до 65 т/га. Выявлено, что рапсом поглощается углекислого газа в 4 раза больше в сравнении с яровой пшеницей и на 58%, чем льном масличным. В этих агроценозах определена мортмасса, которая принимает участие в дальнейшем депонировании органического углерода, она соответственно составляет от 2,9 до 3,4т/га, 5,8-6,5т/га, 18,8т/га.

Оценивая экосистему в целом, обнаружено, что наибольшими запасами органического углерода в двадцатисантиметровом слое характеризуются

биогеоценозы солончаков (109 т/га) и лугово-болотных почв (108 т/га), затем в убывающей последовательности серые лесные 78 т/га, луговые 75 т/га, лугово-черноземные 56 т/га, солонцы 46 т/га. Наименьшими запасами органического углерода характеризуются агрочерноземы обыкновенные, выщелоченные и южные соответственно 49,46,44 т/га и аллювиальные биогеоценозы 35 т/га. Такой объем депонированного органического углерода агробиогеоценозами означает, что плодородие агропочв не следует отождествлять только с органическим углеродом, оно проявляется при взаимодействии совокупности свойств, определенных почвообразовательным процессом. Таким образом, агропочвы содержат на 40-45% меньше органического углерода, чем естественные экосистемы биогеоценозов солончаков и лугово-болотных почв.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при финансовой поддержке МСХ РФ за счет средств федерального бюджета в 2023 году в соответствии с доп. соглашением № - 082-03-2023-240/1 от 16 марта 2023 г.

Список литературы

1. Бабилов Б.В., Кобак К.И. Поглощение атмосферного углекислого газа болотными экосистемами территории России в голоцене. Проблемы заболачивания // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 1(349). С. 6-36. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.1.9>
2. Докучаев В.В. Русский чернозем. М.; Л.: АН СССР, 1949. Соч. т. III. 360 с.
3. Залесов С.В. Роль болот в депонировании углерода // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7-2(109). С. 6-9. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.033>
4. Инишева Л.И., Маслов С.Г. Роль торфяных ресурсов в стратегии устойчивого развития // Труды Инсторфа. 2013. № 8(61). С. 3-10.
5. Климкина Е.В., Морозова Т.В. Реализация стратегии достижения углеродной нейтральности при устойчивом росте экономики аграрного производства // Управление инновационным развитием агропродовольственных систем на национальном и региональном уровнях: Материалы III Международной научно-практической конференции, Воронеж, 27–28 октября 2021 года. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. С. 287-293.
6. Когут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. № 102. С. 103-124. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-103-124>

7. Минерализуемость органического вещества и углеродсеквестрирующая емкость почв зонального ряда / Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Тулина А.С. // Почвоведение. 2008. №7. С. 819-832.
8. Потоки углерода в степных экосистемах (на примере южного Забайкалья) / Г. Д. Чимитдоржиева, Р. А. Егорова, Е. Ю. Мильхеев, Ю. Б. Цыбенков // Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. 2010. № 2(6). С. 33-39.
9. Почвенные очерки районов Алтайского края: по материалам ОАО «АлтайНИИГипрозем» 1980-1990 гг.
10. Почвы Алтайского края. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 382 с.
11. Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении / Романовская А.А., Трунов А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т. // Лесоведение. 2018. № 5. С. 323-334. <https://doi.org/10.1134/S0024114818050066>
12. Продуктивность травяных экосистем: справочник / составители А.А. Титлянова, С.В. Шибарева; Почвенный институт имени В.В. Докучаева; Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. М.: ООО «Издательство МБА», 2020. 100 с.
13. Секвестрация углерода яровой пшеницей, льном масличным, яровым рапсом в разноплановых системах земледелия умеренно-засушливой степи Алтая: монография / Кудрявцев А.Е., Ваганов Е.С., Шпис Т.Э., Канунников С.В., Локтионов В.А., Чубыкин А.А. Барнаул: Издательство АЗБУКА, 2023. 59 с.
14. Тимирязев К.А. Жизнь растения/ [Под редакцией Л. М. Берцинской]. Москва: Юрайт, 2017. 331 с.
15. Houghton R.A., Skole D.L. Carbon // The Earth as transformed by human action. Cambridge, 1990. P. 393–412.
16. Lal R. Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security // BioScience. 2010. Vol. 60. P. 708–721. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8>
17. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change // Geoderma. 2004. Vol. 123. P. 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
18. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and global carbon cycle // Biogeochemistry. 2000. Vol. 48. P. 7–20.
19. Shakoор A., Shahbaz M., Farooq T.H. A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage // The Science of the Total Environment. 2021. Vol. 750. P. 142299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>

20. Stockmann U., Adams M.A., Crawford, J.W. Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., de Courcelles V.R., Singh K., Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M., Brookes P.C., Chenu C., Jastrow J.D., Lal R., Lehmann J., O'Donnell A.G., Parton W.J., Whitehead D., Zimmermann M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013. Vol. 164. P. 80–99.

References

1. Babikov B.V., Kobak K.I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal], 2016. no. 1(349), pp. 6-36.
2. Dokuchaev V.V. *Russkij chernozem* [Russian chernozem] Moscow, Leningrad: Academy of Sciences of the USSR, 1949, vol. III, 360 p.
3. Zalesov S.V. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal], 2021, no. 7-2(109), pp. 6-9.
4. Inisheva L.I., Maslov S.G. *Trudy Instorfa* [Works of Instorf], 2013, no. 8(61), pp. 3-10.
5. Klimkina E.V., Morozova T.V. *Upravlenie innovatsionnym razvitiem agroproduktov i stvennykh sistem na natsional'nom i regional'nom urovnyakh: Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezh, 27–28 oktyabrya 2021 goda* [Management of innovative development of agrifood systems at the national and regional levels: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference, Voronezh, 27-28 October 2021]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great. Emperor Peter I, 2021, pp. 287-293.
6. Kogut B.M., Semenov V.M. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2020, no. 102, pp. 103-124.
7. Semenov V.M., Ivannikova L.A., Kuznecova T.V., Semenova N.A., Tulina A.S. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2008, no. 7, pp. 819-832.
8. Chimitorzhieva G. D., Egorova R. A., Milxeev E. Yu., Cybenov Yu. B. *Ras-titel'nyy mir Aziatskoj Rossii: Vestnik Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN* [Flora and Vegetation of Asian Russia], 2010, no. 2(6), pp. 33-39.
9. *Pochvennye ocherki rajonov Altajskogo kraja: po materialam OAO «AltajNII-Giprozem» 1980-1990* [Soil sketches of the districts of Altai Krai: based on the materials of AltaiNIIIGiGiprozem OJSC 1980-1990].
10. *Pochvy Altajskogo kraja* [Soils of the Altai Territory]. Moscow: Izd. of the USSR Academy of Sciences, 1959, 382 p.
11. Romanovskaya A.A., Trunov A.A., Korotkov V.N., Karaban R.T. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2018, no. 5, pp. 323-334.

12. Titlyanova A.A., Shibareva S.V. *Produktivnost' travyanykh ekosistem: spravochnik* [Herbaceous ecosystem productivity: a handbook], Moscow: IBA Publishing House, 2020, 100 p.
13. Kudryavtsev A.E., Vaganov E.S., Shpis T.E., Kanunnikov S.V., Loktionov V.A., Chubykin A.A. *Sekvestratsiya ugleroda yarovoy pshenitsey, l'nom maslichnym, yarovym rapsom v raznoplanovykh sistemakh zemledeliya umerenno-zasushli-voy stepi Altaya: monografiya* [Carbon sequestration by spring wheat, oilseed flax, spring rape in diverse farming systems of temperate arid steppe of Altai: a monograph], Barnaul: AZBUKA Publishing House, 2023, 59 p.
14. Timiryazev K.A. *Zhizn rasteniya* [Life of a plant]. Moscow: Yurait, 2017, 331 p.
15. Houghton R.A., Skole D.L. Carbon The Earth as transformed by human action. *Cambridge*, 1990, pp. 393–412.
16. Lal R. Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security. *BioScience*, 2010, vol. 60, pp. 708–721. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8>
17. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, vol. 123, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
18. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and global carbon cycle. *Bio-geochemistry*, 2000, vol. 48, pp. 7–20.
19. Shakoor A., Shahbaz M., Farooq T.H. A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. *The Science of the Total Environment*, 2021, vol. 750, pp. 142299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>
20. Stockmann U., Adams M.A., Crawford, J.W. Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., de Courcelles V.R., Singh K., Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M., Brookes P.C., Chenu C., Jastrow J.D., Lal R., Lehmann J., O'Donnell A.G., Parton W.J., Whitehead D., Zimmermann M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2013, vol. 164, pp. 80–99.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Кудрявцев Андрей Ермолаевич, д.б.н., доцент, профессор кафедры почвоведения и агрохимии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный аграрный университет»

*пр-т Красноармейский, 98, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
kae5959@mail.ru*

Ваганов Евгений Сергеевич, врио директора

*Федеральное государственное бюджетное учреждение Станция агрохимической службы «Алейская»
пер. Ульяновский 84а, г. Алейск, Алтайский край, 658130, Российская Федерация
agrohim_22_2@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey E. Kudryavtsev, MD, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry
Altai State Agricultural University

*98, Prospekt Krasnoarmeyskiy, Barnaul 656049, Russian Federation
kae5959@mail.ru*

SPIN-code: 9251-6478

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6904-3661>

ResearcherID: ABI-2726-2020

Scopus Author ID: 57213419641

Evgeny S. Vaganov, Acting Director

'Aleyskaya' Agrochemical Service Station

*84a, per. Ulyanovsky, Aleysk, Altai Territory, 658130, Russian Federation
agrohim_22_2@mail.ru*

Поступила 30.01.2024

После рецензирования 04.03.2024

Принята 15.03.2024

Received 30.01.2024

Revised 04.03.2024

Accepted 15.03.2024