

УДК 631.95

ДИНАМИКА ЭЛЕМЕНТОВ БАЛАНСА УГЛЕРОДА НА НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПАХОТНЫХ УГОДЬЯХ ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

© 2012 г. А. А. Романовская, В. Н. Коротков, Р. Т. Карабань, Н. С. Смирнов

Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН

107258 Москва, ул. Глебовская, 20Б

E-mail: an_roman@mail.ru

Поступила в редакцию 21.06.2011 г.

Рассмотрена динамика запасов углерода неиспользуемых пахотных земель Новгородской области в резервуарах фитомассы, мортмассы и почв. С увеличением возраста залежи прослеживается накопление надземной и подземной мортмассы, в то время как для фитомассы четкой тенденции выявить не удастся. Сопоставление с архивными данными показывает, что в среднем запасы органического почвенного углерода исследованных экосистем уменьшились на 1.39 т С/га от уровня 1983 г., что соответствует ежегодным потерям 0.03 т С/га. Основными определяющими факторами изменения запасов углерода в залежных почвах являются начальный уровень органического углерода пахотного горизонта, интенсивность агроуправляющих мер, которые применяли во время сельскохозяйственной эксплуатации, и уровень запаса углерода в почвах луговых сообществ, типичных для данного региона (зоны).

Ключевые слова: баланс углерода экосистем, залежные земли, парниковые газы, Новгородская обл.

Рост атмосферных концентраций парниковых газов обуславливает необходимость тщательной оценки их запасов и потоков как техногенного, так и биогенного происхождения. Последние наиболее неопределенны и требуют проведения большого количества локальных исследований для возможности определения основных региональных зависимостей поглощения и эмиссии парниковых газов, прежде всего углекислого газа (CO₂), от наземных экосистем.

В глобальном масштабе средний ежегодный нетто поток CO₂ между наземными экосистемами и атмосферой соответствует ежегодному поглощению 0.9 ± 0.6 млрд. т С (без учета техногенных источников эмиссии CO₂) (IPCC, 2007). Однако в масштабе России оценки этого потока разными авторами варьируют в широком диапазоне: от ежегодного источника 0.16–0.39 млрд. т С (Nilsson et al., 2000) до поглощения наземными экосистемами в среднем около 0.49 млрд. т С в год (Shvidenko et al., 2009) и до 0.8–1.0 млрд. т С в год (Кудеяров, 2000, 2005).

Антропогенные воздействия на экосистемы, в частности смена вида эксплуатации земель, изменяют запас органического углерода почв и оказывают заметное влияние на интенсивность и направленность потока CO₂ между экосистемой и атмосферой. В России в течение последних десятилетий в силу политических и экономических преобразований прекращено использование до 30% пахотных угодий (Романовская, 2006б). По

нашим оценкам, на 2009 г. общая площадь брошенных пашен (залежных земель) в стране составляла около 28 млн. га.

Залежные экосистемы способны накапливать органический углерод в силу постепенного восстановления на них многолетней луговой и лесной растительности и отсутствия выноса растительных остатков с урожаем. По данным разных авторов величина такого накопления может составлять от 3.1 (Post and Kwon, 2000) до 302 г С м² год⁻¹ (Kurganova et al., 2010). Наши предыдущие оценки показывают, что средняя скорость аккумуляции почвенного органического углерода залежных земель России равна примерно 97–108 г С м² год⁻¹, что соответствует общему накоплению для всей территории страны около 29 млн. т С год⁻¹ (Романовская, 2008). Однако для уточнения средних величин требуется проведение тщательных исследований региональных закономерностей при изменении запасов и потоков углерода на неиспользуемых пахотных угодьях в разных климатических и растительных зонах страны.

Цель настоящей работы — оценка динамики основных резервуаров углерода в экосистемах неиспользуемых пахотных земель Валдайской возвышенности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследований были выбраны неиспользуемые пахотные земли на террито-

рии центральной части Валдайской возвышенности (Новгородская обл.) на полигоне Валдайского филиала Государственного гидрологического института “Усадье”. Сельскохозяйственная эксплуатация земель была прекращена в разные годы между 1984 и 1994 гг. На отдельных участках, приближенных к населенному пункту, до начала 2000-х годов проводилось выборочное сенокошение. Также был исследован участок лесопосадок, заложенный в 1954 г. на бывшей пашне.

Район исследований характеризуется холмисто-моренным ландшафтом с высотой холмов 30–60 м, абсолютные высоты в среднем составляют около 200 м над ур. м., максимумы достигают 300–320 м. Усадьевский полигон представляет собой типичный современный ландшафт сельскохозяйственных земель Нечерноземья.

Нами были исследованы элементы углеродного баланса выбранных экосистем, включая запасы фито- и мортмассы, а также органического углерода почв. В июле 2009 г. были отобраны образцы надземной фитомассы травяного покрова и неразложившихся растительных остатков на трех залежах, заброшенных в течение 16–18, 22–24 и 25–27 лет назад, и сенокосе, заброшенном в 1999 г. Кроме того, был исследован участок с посадками сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst.) 1954 г. в урочище “Синяя гнилка”, высаженных на территории бывшей пашни в непосредственной близости от полигона “Усадье”. Контрольные пробы отобраны на используемом пахотном поле, засеянном овсом, на границе д. Усадье. Подземные запасы фито- и мортмассы оценивали расчетным путем на основании соотношений для типичных луговых сообществ данной зоны (Базилевич, 1993).

В настоящее время исследуемые залежи представляют собой разнотравно-злаковые луга с доминированием злаков (овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), полевица тонкая (*Agrostis tenuis* Sibth.), тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.), щучка дернистая (*Deschampsia caespitosa* (L.) Beauv.) и примесью разнотравья. Среди разнотравья доминируют горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), василек луговой (*Centaurea jacea* L.), подмаренник настоящий (*Galium verum* L.). Проективное покрытие составляет 100%, высота травостоя — 120–140 см. Появление самосева древесной растительности затруднено в связи с сильным задернением. Однако местами отмечен подрост ив козьей (*Salix caprea* L.) и пепельной (*S. cinerea* L.), осины (*Populus tremula* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и ели обыкновенной. Участок заброшенного сенокоса по структуре и видовому составу близок к залежным экосистемам, но здесь полностью отсутствует самосев древесных растений. Бывший сенокос представляет собой разнотравно-злаковый луг с

доминированием овсяницы луговой, ежи сборной, горошка мышиного, василька лугового.

Почвы на залежных участках дерновые, слабо-подзолистые и скрытоподзолистые. По механическому составу встречаются среднесуглинистые почвы, реже — супесчаные. Гумусный горизонт неоднородный, разбавленный нижележащими слоями в результате глубокой вспашки. В среднем мощность гумусового горизонта старопахотных почв залежных земель составляет около 25 см. В пахотном горизонте встречаются включения гравия, горизонт бесструктурен, во влажном состоянии образует глыбистую поверхность. Подстилающий горизонт представлен красно-бурым моренным суглинком с ореховато-комковатой структурой.

Дополнительно исследовали посадки ели и сосны по пашне (культуры 1954 г.) в урочище “Синяя гнилка”. На этом участке леса процессы усиленного естественного самоизреживания древостоев привели к накоплению сухостоя и валежа. Ярус подроста и подлеска слабо выражен, а немногочисленный подрост (рябина (*Sorbus aucuparia* L.), осина, дуб (*Quercus robur* L.), ель, клен остролистный (*Acer platanoides* L.) и др.) по высоте не превышает пределы травяного покрова. Последний разрежен (проективное покрытие около 30%), в нем преобладает кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), участие других видов незначительно. Доминируют луговые и опушечные виды, в то время как типично лесных видов травянистой растительности мало. Гумусовый горизонт под посадками развит слабо, его мощность не превышает 4 см, по механическому составу почва легкосуглинистая.

На всех исследованных участках были отобраны почвенные образцы верхнего горизонта залежных почв. На каждой пробной площадке для верхнего слоя почвы (0–20 см) отбирали 10 почвенных образцов, которые затем смешивали и формировали средние пробы для химического анализа. На участках залежных земель осуществляли отбор смешанных почвенных образцов по слоям почвы 0–0.5 (до 6.0) см (подстилка) и от 0.5 (6.0) до 20 см (слой после подстилки). На участках с посевами культурных растений отбирали средние пробы для пахотного слоя $A_{\text{пах}}$ в целом, а при необходимости — подстилающий горизонт почвы. Пробы перебирали вручную и высушивали. Содержание общего углерода образцов почв определяли методом Тюрина в модификации Никитина в трех повторностях на базе лаборатории Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. Кроме того, на всех пробных площадях в профиле почвы на глубине от 5 до 10 см были отобраны пробы для определения объемной массы почв. На основании полученных данных рассчитывали среднее

Средние запасы в резервуарах фитомассы и мортмассы различных экосистем на территории полигона “Усадье”, т сух. в-ва/га

Экосистема	Надземные резервуары		Подземные резервуары (оценочно)		Общий запас надземных и подземных резервуаров
	фитомасса	мортмасса	фитомасса	мортмасса	
Залежь 16–18 лет	6.3	2.5	10.9	8.1	27.8
Залежь 22–24 лет	5.0	3.3	8.8	10.4	27.5
Залежь 25–27 лет	5.1	4.0	8.9	12.8	30.8
Сенокос (некосимый 10 лет)	10.1	4.1	15.6	13.3	43.1
Травяной покров посадок сосны и ели 1954 г.	0.5	10.1	—	—	—
Пашня 2009 г.	3.7	0.1	2.6	1.1	7.5

содержание органического углерода в слое почвы 0–20 см. С использованием результатов оценки объемной массы исследуемых почв полученные результаты переводили в запасы углерода в расчете на 1 га.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным данным, общие запасы фито- и мортмассы на залежных участках несколько ниже запасов разнотравного луга брошенного сенокоса, однако в 4 раза и более превышают запасы этих резервуаров на пашне (см. таблицу). С увеличением возраста залежи прослеживается накопление надземной и подземной мортмассы, в то время как для фитомассы четкой тенденции к увеличению или уменьшению запасов в зависимости от возраста залежи выявить не удалось. В среднем запасы надземной фитомассы залежных участков были почти в 2 раза ниже, чем на бывшем сенокосе.

В ходе работы в течение 2010 г. нами были получены количественные оценки запасов гумуса и

проанализирована его многолетняя динамика на исследованных площадках.

Результаты анализа почвенных проб пашни, залежных полей, брошенного сенокоса (полигон “Усадье”) и лесопосадок (урочище “Синяя гнилка”) на содержание органического углерода в слое почвы 0–20 см представлены на рис. 1, а данные, пересчитанные в запасы углерода в расчете на 1 га, — на рис. 2. Как следует из представленных диаграмм, полученные данные могут свидетельствовать о снижении содержания органического углерода в брошенных сельскохозяйственных угодьях в течение времени (лет) после прекращения сельскохозяйственной обработки почв. Примерно к 25 годам зарастания на брошенных участках пашни стабилизировалось содержание углерода в верхнем горизонте почвы на одинаковом уровне, характерном, по-видимому, для естественных луговых экосистем данного региона. Наблюдаемое некоторое понижение содержания углерода в почве сенокоса, которое все же находится в пределах неопределенности оценок, может объясняться периодическим сенокосением и отчуждением части биомассы, а следовательно, и

Содержание $C_{орг}$, %

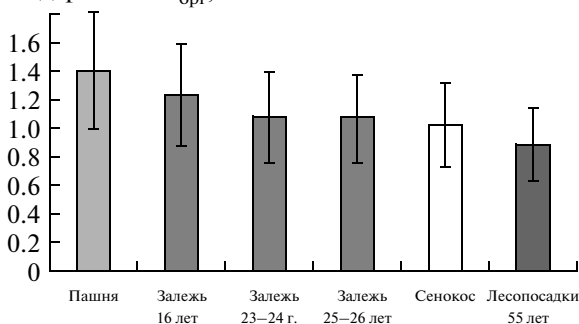


Рис. 1. Содержание почвенного органического углерода на пашне, залежных землях, брошенном сенокосе полигона “Усадье” и в лесопосадках урочища “Синяя гнилка”.

Запасы $C_{орг}$, т/га

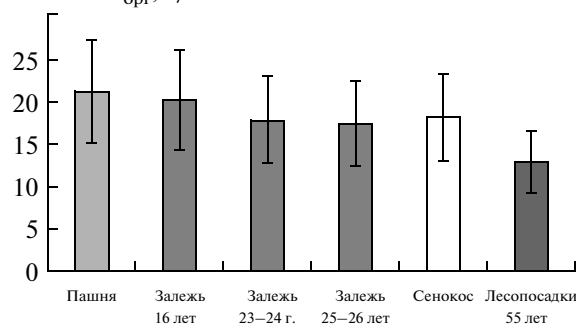


Рис. 2. Запасы почвенного органического углерода на пашне, залежных землях, брошенном сенокосе полигона “Усадье” и в лесопосадках урочища “Синяя гнилка”.

“Усадье”, были исследованы в 1983 и 1995 гг. Составление карты полей, полученной из архива, и точек отбора 2009 г. представлено на рис. 3.

Согласно архивным данным, на период сельскохозяйственного использования содержание углерода пахотных почв полигона соответствовало уровню от 0.76 до 1.43% С, а в среднем эта величина составляла 1.12% С. Эти результаты близки к полученному нами значению для действующей пашни — 1.41% С. При этом среднее содержание углерода пашен увеличилось от 1.06 до 1.18% С в течение периода с 1983 до 1995 г., что, по-видимому, может объясняться эффективными мерами по стабилизации и увеличению гумуса используемых в то время пашен. После прекращения применения этих мер, включая ежегодное внесение органических удобрений, песчаные почвы большинства исследованных пробных площадок характеризовались потерями органического углерода с постепенной его стабилизацией на уровне естественных биоценозов. Сопоставление исторических данных и результатов наших исследований представлено на рис. 4.

Исключение составила пробная площадка на территории бывшей пашни, брошенной около 25–26 лет назад, на которой наблюдалось накопление углерода почв после прекращения эксплуатации. По-видимому, это объясняется сравнительно низким начальным содержанием почвенного органического углерода на данной площадке, которое увеличивается до типичного регионального уровня в течение периода формирования многолетней луговой растительности. Из рис. 4 следует, что содержание углерода всех почв стремится к уровню 1.1–1.2% С.

Принимая объемную массу пахотных почв равной стандартной величине (1.3 г/см³), можно оценить средние потери запасов углерода исследованных земель. Так, в среднем запасы органического почвенного углерода пробных площадок уменьшились на 1.39 т С/га от уровня 1983 г. и на 0.45 т С/га от уровня 1995 г., что соответствует ежегодным потерям 0.03 т С/га.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что большинство экосистем залежных земель на территории полигона “Усадье” Валдайской возвышенности в течение периода после прекращения вспашки теряли почвенный органический углерод. Одновременно происходила аккумуляция углерода в его “кратковременных” резервуарах — растительных остатках и фитомассе.

Очевидно, что основными определяющими факторами изменения запасов углерода в почвах при зарастании неиспользуемых пахотных земель являются начальный уровень органического углерода пахотного горизонта, интенсивность агро-мелиоративных мер по стабилизации гумуса, ко-

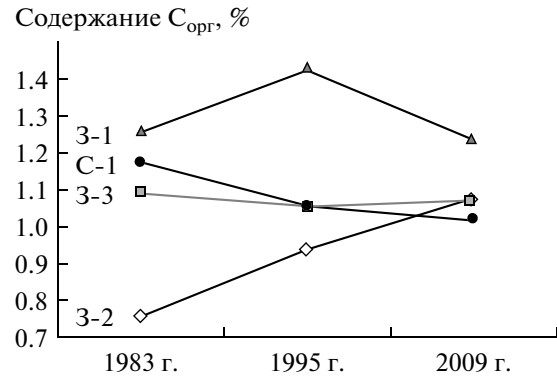


Рис. 4. Динамика содержания почвенного органического углерода на почвах полигона “Усадье”: 3-1 — залежь 16 лет; 3-2 — залежь 25–26 лет; 3-3 — залежь 23–24 года; C-1 — брошенный сенокос.

торые применяли во время сельскохозяйственной эксплуатации, и уровень запасов углерода в почвах луговых сообществ, типичных для данного региона (зоны). Изначально малогумусные почвы имеют тенденцию к накоплению углерода после прекращения обработки, как и почвы, на которых агро-мелиорация проводилась в недостаточном объеме. В то же время более богатые углеродом пахотные почвы при высоком ежегодном поступлении углеродного материала в виде растительных остатков или органических удобрений могут характеризоваться потерями почвенного органического углерода при их зарастании. При этом в обоих случаях общие запасы углерода почв будут стремиться к стабилизации на уровне, типичном для естественных луговых биогеоценозов данной зоны.

Отсюда можно заключить, что выполнение приблизительных оценок потенциала поглощения атмосферного CO₂ залежными сельскохозяйственными землями России в целом на основании экспериментальных результатов по ограниченному количеству регионов может характеризоваться высокой степенью неопределенности и приводить к завышенным результатам без учета возможности потерь почвенного органического углерода на неиспользуемых пахотных угодьях Нечерноземья.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-05-13506-офи_ц).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 295 с.

- Кудеяров В.Н.* Вклад почвы в баланс CO_2 атмосферы на территории России // Докл. РАН. Общ. биол. 2000. Т. 375. № 2. С. 275–277.
- Кудеяров В.Н.* Роль почв в круговороте углерода // Почвоведение. 2005. № 7. С. 915–923.
- Курганова И.Н.* Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2010. 50 с.
- Романовская А.А.* Аккумуляция углерода в болотных низинных почвах залежных земель Мурманской области // Экология. 2006а. № 6. С. 1–5.
- Романовская А.А.* Органический углерод в почвах залежных земель России // Почвоведение. 2006б. № 1. С. 52–61.
- Романовская А.А.* Основы мониторинга антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов (CO_2 , N_2O , CH_4) в животноводстве, при сельскохозяйственном землепользовании и изменении землепользования в России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2008. 42 с.
- Сазонов С.Н.* Микробиологическая характеристика самовосстанавливающейся дерново-подзолистой почвы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2005. 24 с.
- IPCC Fourth Assessment Report: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change "The Physical Science Basis" / Solomon, S., D. Qin, M. Manning et al. Eds. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- Kurganova I.N., Kudeyarov V.N., Lopes de Gerenyu V.O.* Updated estimate of carbon balance on Russian territory // Tellus. 2010. V. 62B (5). P. 497–505.
- Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V. et al.* Full carbon account for Russia. Interim Report IR-00-021. IIASA, Laxenburg, Austria, 2000. 180 p.
- Post W.M., Kwon K.C.* Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential // Global Change Biology. 2000. № 6. P. 317–327.
- Shvidenko A., Schepachenko D., McCallum I. et al.* Terrestrial ecosystems full carbon account for Russia: a reanalysis // Proceedings of 8th International CO_2 Conference. Jena, Germany. 2009.