

УДК: 631.4

Изменение величины и структуры запасов углерода в регионах южной тайги и лесостепи Европейской России за исторический период

Чернова Ольга Владимировна, Рыжова Ирина Михайловна, Подвезенная Марина Александровна

Аннотация:

Обсуждаются региональные оценки изменений запасов углерода в фитомассе и почвах за исторический период в регионах южной тайги и лесостепи европейской территории России на примере двух административных областей Костромской (южная тайга) и Курской (лесостепь). Актуальные и потенциальные запасы углерода в фитомассе и 100-см слое почв рассчитаны на единой картографической основе с учетом типо-возрастной структуры восстановленной и современной растительности, таксономической принадлежности почв, их гранулометрического состава и структуры земельных угодий.

Показано, что за период антропогенного использования общие запасы органического углерода модельных территорий снизились почти на 25 % в Костромской области, и более, чем на 30 %, – в Курской. При этом в Костромской области углеродный пул фитомассы уменьшился на 40 %, что обусловлено активным использованием лесного фонда, а пул углерода почвы практически не изменился. В Курской области высокая степень распашки территории и почти полное сведение древесной растительности привели к значительному уменьшению углеродных пулов как фитомассы (на 75 %), так и почвы (на 23-27 %).

Ключевые слова: актуальные и потенциальные запасы углерода, структура запасов углерода, углеродный пул фитомассы, углеродный пул почвы.

Changes of Organic Carbon Pools in the Southern Taiga and Forest-Steppe of European Russia during the Historical Period

Chernova Olga Vladimirovna, Ryzhova Irina Mikhaylovna, Podvezennaya Marina Aleksandrovna

Abstract:

Regional estimates of changes of organic carbon pools for Kostroma oblast (southern taiga) and Kursk oblast (forest-steppe) during the historical period were discussed. Actual and potential carbon pools in the phytomass and the 100-cm soil layer were calculated on a single map-based, with due account for the classification position of particular soils, their texture, the character and age structure of forest stands, and land use patterns were taken into account. It was shown that the modern total organic carbon pool of Kostroma oblast by almost 25% below its potential; for

the Kursk oblast this difference more than 30%. Soil organic carbon pool of Kostroma region hasn't changed, a phytomass carbon pool decreased by 40% due to the active use of forest resources. The high degree of plowing in Kursk region and almost complete reduction of woody vegetation led to a significant reduction in carbon pools of phytomass (75%) and soil (by 23-27%).

Keywords: actual and potential carbon stocks, carbon stock structure, a biomass carbon pool, soil carbon pool.

Введение

Связывание углерода является одним из экосистемных сервисов, показатели которого считаются наиболее хорошо проработанными на глобальном уровне. Изучению причин и направленности изменений запасов органического вещества в экосистемах при смене характера землепользования посвящены многочисленные исследования [35; 31; 34 и др]. Уровень накопления углерода контролируется как природными, так и антропогенными факторами, при этом размеры общих запасов углерода, соотношение пулов и их динамика в разных регионах планеты существенно различаются в зависимости от природных, экономических и историко-культурных условий.

Основные запасы органического вещества в наземных экосистемах сосредоточены в биомассе растений (живой и отмершей) и в почвах (включая минеральные горизонты, подстилку и торф). Соотношение этих крупных пулов является важной характеристикой биологического круговорота, а изменение их соотношения на определенных территориях свидетельствует об изменении циклов элементов и отражает степень устойчивости функционирования природных комплексов.

В настоящее время запасы органического углерода в фитомассе современной растительности на планете оцениваются на уровне 500-700 Гт, а в 100-см толще почв – в 1500 Гт. [33]. Предложены различные методы экстраполяции и математические модели для оценки актуальных запасов углерода и их изменений при различных воздействиях. Так, например, Межправительственной группой экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) разработаны стандартные методы оценки изменения запасов почвенного углерода при различных типах землепользования и культуры земледелия [32]. Однако, как указывают сами авторы методик, большая их часть была разработана для значительных по площади территорий и не пригодна для локальных и региональных оценок [36]. Оценки, основанные на широкомасштабных экстраполяциях, имеют политическую значимость и привлекают внимание к экологическим проблемам но не пригодны для региональных расчетов, с точностью, необходимой для принятия управленческих решений.

Расчетов общих запасов углерода и их структуры для определенных территорий имеется немного [9; 22; 23], более часто приводятся усредненные

данные, относящиеся к какому-нибудь одному углеродному пулу, или определенному типу земельных угодий, сгруппированные в рамках крупных природно-географических или административно-хозяйственных регионов [1; 6; 1; 25; 24; 26; 27; 29 и др.].

Региональные оценки обычно опираются на результаты экспериментальных исследований и данные ведомственной статистики, часто относящиеся лишь к одному углеродному пулу (Государственный лесной реестр, аграрная статистика, сведения о торфяных ресурсах и добыче торфа).

Расчеты величины и структуры запасов углерода конкретных территорий весьма затрудняют также несовпадение природных границ рассматриваемых пулов, и различная точность характеризующих их эмпирических данных. Определенные сложности возникают и при попытке соотнесения данных государственной или ведомственной статистической отчетности с параметрами природных объектов. В этой связи представляет интерес оценка изменения общих запасов и соотношения пулов углерода для конкретной территории за исторический период (период антропогенного использования).

Цель исследования

Нашей задачей было оценить величины и структуры запасов органического углерода: актуальных (при современном состоянии экосистем и структуре землепользования) и потенциальных (для гипотетического доисторического состояния с природными комплексами, аналогичными современным целинным) для территорий двух административных областей Европейской России (Костромской и Курской), различных по природным характеристикам и типам землепользования. При этом мы попытались в максимальной степени использовать доступные в настоящее время источники информации: карты, базы данных, данные государственной и ведомственной статистической отчетности и опубликованные результаты локальных исследований.

Методические подходы

Работы по изучению изменения запасов углерода в экосистемах обычно охватывают небольшой промежуток времени и посвящены однонаправленной смене использования территории. Экстраполяция результатов таких исследований на значительные площади и длительный период времени часто не дает удовлетворительных результатов, поэтому прогнозные или ретроспективные оценки динамики запасов почвенного углерода в регионах, испытавших многократные разнонаправленные смены типов землепользования, весьма затруднительны.

Мы полагаем, что для оценки долговременной динамики запасов углерода в регионах перспективно сравнение углеродных пулов природно-антропогенных экосистем при актуальной структуре землепользования с потенциальными, характеризующими естественные экосистемы. Разница между потенциальными и современными пулами углерода может рассматриваться как суммарный

результат многократных изменений запасов почвенного углерода за исторический период.

В качестве модельных регионов выбраны Костромская и Курская административные области, коренным образом различающиеся по составу почвенного покрова, доминирующей естественной растительности и типу землепользования и, в меньшей степени, – по климатическим характеристикам.

Природные комплексы Костромской области формируются в условиях умеренно-континентального климата со среднегодовой температурой воздуха $+1,5 - +3,0^{\circ}\text{C}$ и преобладанием осадков над испарением (Кувл. = 1,16) в зоне распространения темнохвойных еловых, елово-сосновых и сосновых лесов южной тайги. Территория региона незначительно изменена сельскохозяйственным использованием. В настоящее время 75 % площади области относится к землям лесного фонда, большая часть которых активно используется в лесном хозяйстве. В составе почвенного покрова преобладают дерново-подзолистые почвы и дерново-подзолы.

Курская область расположена в лесостепной зоне в условиях умеренно-континентального климата со среднегодовой температурой воздуха около $+5,4^{\circ}\text{C}$ и периодически промывным водным режимом (Кувл. = 1,00). Область характеризуется высокой степенью сельскохозяйственной преобразованности территории. Естественная растительность, которая была представленная широколиственными лесами и луговыми степями, практически сведена. В составе почвенного покрова преобладают черноземы оподзоленные, выщелоченные и типичные, а также серые лесные почвы.

Для оценки потенциальных и современных запасов углерода в фитомассе и 100-см слое почвы использовали сходные подходы и единую картографическую основу [15; 8]. При расчетах учитывали таксономическое разнообразие почв, их гранулометрический состав, тип-возрастную структуру растительного покрова и актуальные данные о структуре земельных угодий.

Требующиеся для расчетов характеристики биологического круговорота элементов в экосистемах (общее количество фитомассы, продуктивность, запасы подстилок и др.) получены на основе сведений из базы данных «Продуктивность экосистем Северной Евразии» [<http://biodat.ru/db/index.htm>.] и отдельных показателей из других источников [26; 10].

Для оценки запасов углерода в естественных и антропогенно-измененных почвах использовали дополненную базу данных «Запасы углерода в автономных почвах природных экосистем Европейской территории России» [20; 19], систематизированные сведения по запасам гумуса в сельскохозяйственных почвах [21], опубликованные данные точечных исследований различных авторов и результаты собственных исследований. Подробно использованная методика оценки потенциальных и актуальных запасов углерода в почвах изложена ранее [28].

Чтобы учесть региональные особенности почв и растительных ассоциаций, требующиеся для расчетов сведения из баз данных и результаты локальных

обследований сгруппированы по провинциям в соответствии с Картой почвенно-географического районирования М: 1:15 000000 [7] (для Костромской области – Прибалтийская и Среднерусская провинции дерново-подзолистых почв и дерново-подзолов южной тайги; для Курской области – Сурская провинция серых лесных почв лиственных лесов и Окско-Донская провинция серых лесных почв и черноземов (оподзоленных, выщелоченных и типичных) лесостепи). В расчетах использовали усредненные значения показателей в границах соответствующих провинций.

Потенциальные запасы

Доисторическое состояние экосистем модельных территорий реконструировано на основе широко используемой в геоботанике концепции потенциальной или восстановленной растительности, которая описывает состояние зрелых растительных ассоциаций в отсутствие вмешательства человека [30]. На основе информации Карты растительности СССР М:1:4000000 [8], отражающей состояние «восстановленной» растительности, и Почвенной карты РСФСР М:1:2 500 000 [15] реконструировано распределение естественных экосистем Костромской и Курской областей. Картографическая основа для площадных расчетов получена путем наложения слоев векторных карт: скорректированной цифровой версии Почвенной карты РСФСР [15], Карты растительности СССР [8] и Схемы административного деления Российской Федерации М:1:1 000 000. Основными информационными слоями являются слои Почвенной карты РСФСР [15], которые совмещены со слоями Карты растительности СССР [8] на уровне типов доминирующей растительности (без учета низших единиц, отраженных в легенде). Полученные таким образом полигоны характеризовались классификационной принадлежностью преобладающей почвы, ее гранулометрическим составом и типом растительной ассоциации. Сходные по характеристикам полигоны объединены в картографические выделы, образовав 12 выделов для территории Костромской области и 9 – для Курской области. Для каждого выдела оценивали запасы органического углерода в 100-см слое почвы, в подстилке (степном войлоке) и фитомассе растительности соответствующего типа.

Потенциальные запасы органического вещества в фитомассе и подстилках рассчитывали на основании сведений из базы данных «Продуктивность экосистем Северной Евразии» [17], усредняя в границах указанных выше провинций значения, характеризующие сформированную растительность соответствующих типов (приспевающие, спелые и перестойные леса; старозалежные и целинные степи). Среднее значение содержания углерода в органическом веществе подстилок для всех почв и растительных ассоциаций принято равным 38 % на основании расчетов Д. Г. Щепашенко с соавторами [29].

Запасы углерода в автономных естественных почвах рассчитывали на основе нелинейной модели круговорота углерода NAMSOM [20; 19] для каждого типа

почв с учетом их гранулометрического состава. При недостаточности данных для определения значений параметров модели, для оценки запасов углерода в почвах (серые лесные почвы, почвы с дополнительным увлажнением) использованы усредненные литературные данные. Для переувлажненных почв (глеевые, торфянистые, перегнойные и т.п.), из-за малочисленности экспериментальных определений и неопределенности границ между оторфованными подстилками, перегнойными и минеральными горизонтами, рассчитаны суммарные запасы углерода без разделения на органические и минеральные горизонты. Запасы углерода в 100-см толще болотных торфяных почв оценены отдельно для верховых, переходных и низинных болот с учетом зольности и объемного веса соответствующего торфа. Методика расчетов запасов углерода в почвах подробно описана ранее [28].

Потенциальные запасы углерода территорий модельных областей рассчитывали, умножая полученные значения запасов углерода в минеральной толще, органических горизонтах почв и фитомассе основных типов растительности на площади соответствующих выделов схематических карт восстановленных почвенно-растительных комплексов.

Актуальные запасы

При расчете актуальных пулов органического углерода учитывали современную структуру землепользования в регионах, запасы углерода в современных сельскохозяйственных и лесных почвах и типо-возрастные характеристики растительности. Площади земельных угодий оценивали на основе данных Росреестра [4], скорректированных в соответствии со сведениями из статистического сборника «Регионы России...» [18], лесными планами областей [11; 12] и информацией о месторождениях торфа на территориях Костромской и Курской областей [5; 16]. Расчеты проведены для следующих категорий земель: пашни; сенокосы и пастбища; молодые залежи (до 20-25 лет); леса и нелесная древесная растительность; земли под вырубками, гарями, погибшими насаждениями; болота; дороги; земли застройки, нарушенные, прочие. Кратко алгоритм расчетов площадей земель этих категорий приводится в табл. 1, а подробно описан ранее [28].

Таблица 1 – Современные площади земельных угодий, использованные в расчетах

Земельные угодья	Алгоритм расчета, источник данных	Площадь, тыс. га
Костромская область		
Вся область	[4]	6 021,1
Безводная территория	[4]	5 924,1
Пашня*	Посевная площадь [18]+ расчетный пар по методу [13]	200,0
Сенокосы и пастбища	Сенокосы [4]+ Пастбища [4] + Многолетние насаждения [4]	308,4

Залежные земли	Залежь [4] + (Пашня [4] - Пашня*)	486,5
Болота**		247,8
Заболоченные леса**		246,2
Болота в лесном фонде*	Болота** - Болота [4]	
Земли лесного фонда, с древесной растительностью без заболоченных территорий	Лесные насаждения лесного фонда [4] – (Заболоченные леса** + Болота в лесном фонде* + Гари, погибшие насаждения [11] + Вырубки [11])	3 986,1
Лесные насаждения, не входящие в лесной фонд (лесополосы и т.п.)	[4]	98,7
Земли с нарушенным растительным покровом и, возможно, частично нарушенным почвенным покровом	Земли застройки [4] + Земли лесного фонда без лесного покрова [4] + Гари, погибшие насаждения [11] + Вырубки [11] + Другие [4]	237,5
Земли без почвенного покрова	Дороги [4] + Свалки, пески, овраги [4] + Нарушенные [4]	112,9
Курская область		
Вся область	[4]	2 999,7
Безводная территория	[4]	2 961,5
Пашня*	Посевная площадь [18] + расчетный пар по методу [13]	1 561,5
Сенокосы и пастбища	Сенокосы + Пастбища + Многолетние насаждения [4]	494,8
Залежные земли	Залежь [4] + (Пашня [4] - Пашня*)	384,3
Земли лесного фонда, покрытые древесной растительностью	Лесные насаждения лесного фонда [4] – (Гари, погибшие насаждения [12] + Вырубки [12])	234,6
Болота	[4]	36,2
Лесные и древесно-кустарниковые насаждения, не входящие в лесной фонд	[4]	68,1
Земли с нарушенным растительным покровом и частично нарушенным почвенным покровом	Земли застройки [4] + Земли лесного фонда без лесного покрова [4] + Гари, погибшие насаждения [12] + Вырубки [12] + Другие [4]	84,1
Земли без почвенного покрова	Дороги [4] + Свалки, пески, овраги [4] + Мелиоративное строительство [4] + Нарушенные [4]	97,9

** по карте восстановленных почвенно-растительных ассоциаций

* расчетные значения

Для определения запасов углерода фитомассы современной древесной растительности использовали онлайн-программу «Региональная оценка бюджета углерода лесов» (РОБУЛ) [3]. В программу заносили сведения о типовозрастной структуре лесов из лесных планов областей [11; 12]. Биомасса растительности сельскохозяйственных земель оценена на основе ориентировочных показателей, рассчитанных Ф. И. Левиным по данным

перспективных урожаев на государственных сортоиспытательных участках [10].

Запасы гумуса в почвах сельскохозяйственных угодий определяются их природными характеристиками, а также степенью окультуренности и эродированности. Поскольку точные данные о состоянии сельскохозяйственных земель в рассмотренных областях отсутствуют, запасы органического углерода в почвах сельскохозяйственных угодий осуществлены для двух вариантов: 1) исходя из предположения о преобладании в пахотном фонде средне окультуренных и средне гумусированных почв; 2) на основании усредненных данных фактических определений. Подробно методика оценки описана ранее [28].

Разницу в оценках потенциальных и актуальных запасов мы считаем изменением за исторический период величины пулов углерода на территориях, различающихся по природным особенностям и преобладающим типам землепользования.

Результаты исследования и их обсуждение

Изменение величины и структуры запасов углерода в южной тайге

До начала антропогенного освоения практически вся территория Костромской области была занята лесными экосистемами. Анализ картографических материалов выявил близкое совпадение областей распространения легких по гранулометрическому составу почв и территорий, занятых в прошлом сосновыми лесами; к среднесуглинистым и более тяжелым почвам приурочены основные массивы еловых лесов. Для супесчаных почв, подстилаемых суглинками и глинами, а также для легкосуглинистых, аналогичного соответствия с типами растительности не выявлено.

Схематическая карта восстановленных почвенно-растительных комплексов Костромской области представлена на рис. 1.

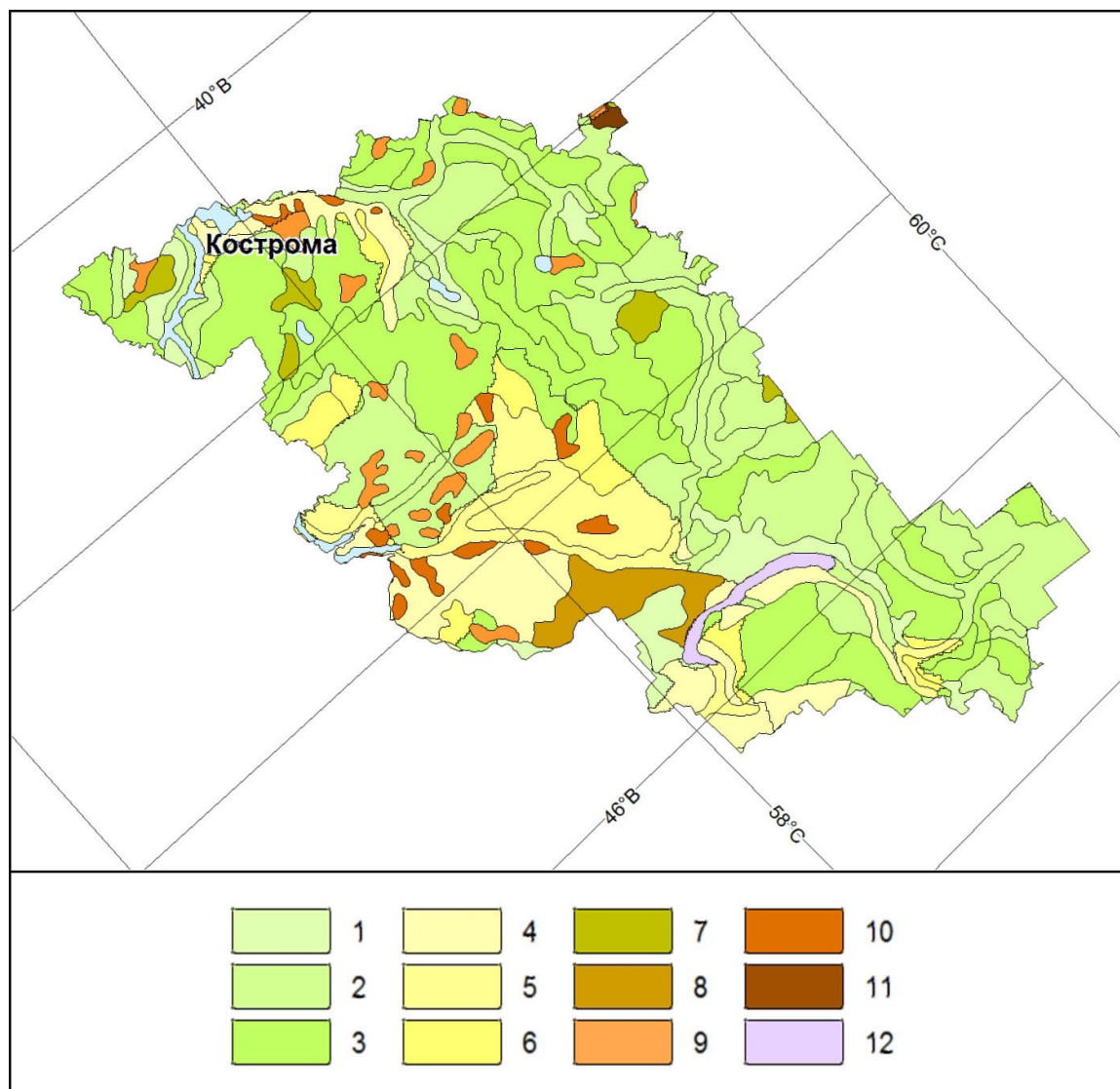


Рис. 1. – Схематическая карта восстановленных почвенно-растительных комплексов Костромской области

Условные обозначения: Сосняки на: 1 – дерново-подзолах и подзолах песчаных и супесчаных, дерново-подзолистых супесчаных почвах; 2 – дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах; 3 – дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах; Ельники на: 4 – дерново-подзолах и подзолах песчаных и супесчаных, дерново-подзолистых супесчаных почвах; 5 – дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах; 6 – дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах; Переувлажненные и заболоченные леса: 7 – ельники на дерново-подзолистых глеевых, дерново-глеевых, перегнойно-глеевых, торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевых почвах; 8 – сосняки на подзолах глеевых торфянистых и торфяных; Болота с лесной растительностью: 9 – низинные; 10 – переходные; 11 – сфагновые болота без древесной растительности; 12 – пойменные экосистемы.

Оценка потенциальных запасов органического углерода показала, что в южной тайге в автоморфных условиях запасы и соотношение пулов углерода в естественных экосистемах различаются незначительно: они изменяются от 16-19 кгС/м² в сосняках и ельниках на песчаных и супесчаных подзолах и дерново-

подзолах до 19-22 кгС/м² в ельниках на суглинистых дерново-подзолистых почвах (табл.2). Для переувлажненных лесов оценки значительно более изменчивы (от 17-19 до 25-33 кгС/м²). В автономных условиях подстилки вносят небольшой вклад (10-20 %) в общий запас почвенного органического вещества, в переувлажненных условиях углеродный пул органических горизонтов может превышать 50 % общих запасов углерода почв.

Максимальными запасами органического углерода характеризуются экосистемы болот (в переувлажненных лесах на болотных торфяных низинных почвах они могут превышать 65 кгС/м²), причем большая часть запасов органического вещества сосредоточена торфяной толще (20-65 кг/м²) (табл. 2).

Рис. 2А демонстрирует соотношение углеродных пулов (минимальные и максимальные значения) в основных ненарушенных экосистемах южной тайги.

Таблица 2 – Запасы углерода в основных естественных и антропогенно-преобразованных экосистемах южной тайги

Растительность	Почвы	Гранулометрический состав почв	Запасы Сорг., кг/м ²						Индекс экосистемы рис. 2
			Почва		Подстилка, торф		Фитомасса		
			min	max	min	max	min	max	
Потенциальные									
Сосняки Ельники	подзолы иллювиально-железистые, дерново-подзолы иллювиально-железистые, дерново-подзолистые	песчаные супесчаные легкосуглинистые	3,8	5,5	0,9	1,1	10,7	12,9	<u>С-Е</u> По-Пд
Ельники	дерново-подзолистые	средне-, тяжелосуглинистые, глинистые	5,4	7,8	0,9	1,0	11,5	12,9	<u>Ел</u> Пд
Переувлажненные и заболоченные леса	подзолы глеевые, дерново-подзолисто-глеевые, торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые, дерново-глеевые, перегнойно-глеевые	без разделения	14,9*	23,3*			6,5	8,2	<u>ПЗ</u> Пгд- Пгт
Болота	торфяные болотные (верховые, переходные, низинные)		0	4,0	20,0	65,0	0,2	6,4	<u>Б</u> Тв-Тн
Современные									
Пашни, сенокосы, пастбища	дерново-подзолы, дерново-подзолистые почвы	супесчаные, легко-, средне-, тяжелосуглинистые	4,4	8,4	0,0	0,1	0,2	0,8	<u>Пах</u> По-Пд
Залежи и молодые леса	дерново-подзолы иллювиально-железистые, дерново-подзолистые почвы	песчаные, супесчаные, легко-, средне-, тяжелосуглинистые	4,9	7,6	0,1	0,6	0,7	4,5	<u>Л мол</u> По-Пд
Полновозрастные леса	дерново-подзолы иллювиально-железистые, дерново-подзолистые почвы	песчаные, супесчаные, легко-, средне-, тяжелосуглинистые	4,2	7,8	0,9	1,1	10,7	13,9	<u>Л зр</u> По-Пд
Переувлажненные, заболоченные леса	подзолы глеевые, дерново-подзолисто-глеевые, торфяно- и торфянисто-	без разделения	14,9*	23,3*			6,5	8,2	<u>ПЗ</u>

	подзолисто-глеевые, дерново-глеевые и перегнойно-глеевые								Пгд- Пгт
Болота	торфяные болотные (верховые, переходные, низинные)		0,0	4,0	20,0	65,0	0,2	6,4	<u>Б</u> Тв-Тн
Дороги, земли застройки, нарушенные, прочие земли			0,3	7,5	0,0	0,1	0,0	0,5	Пр

* суммарные запасы органического углерода в почве и подстилке

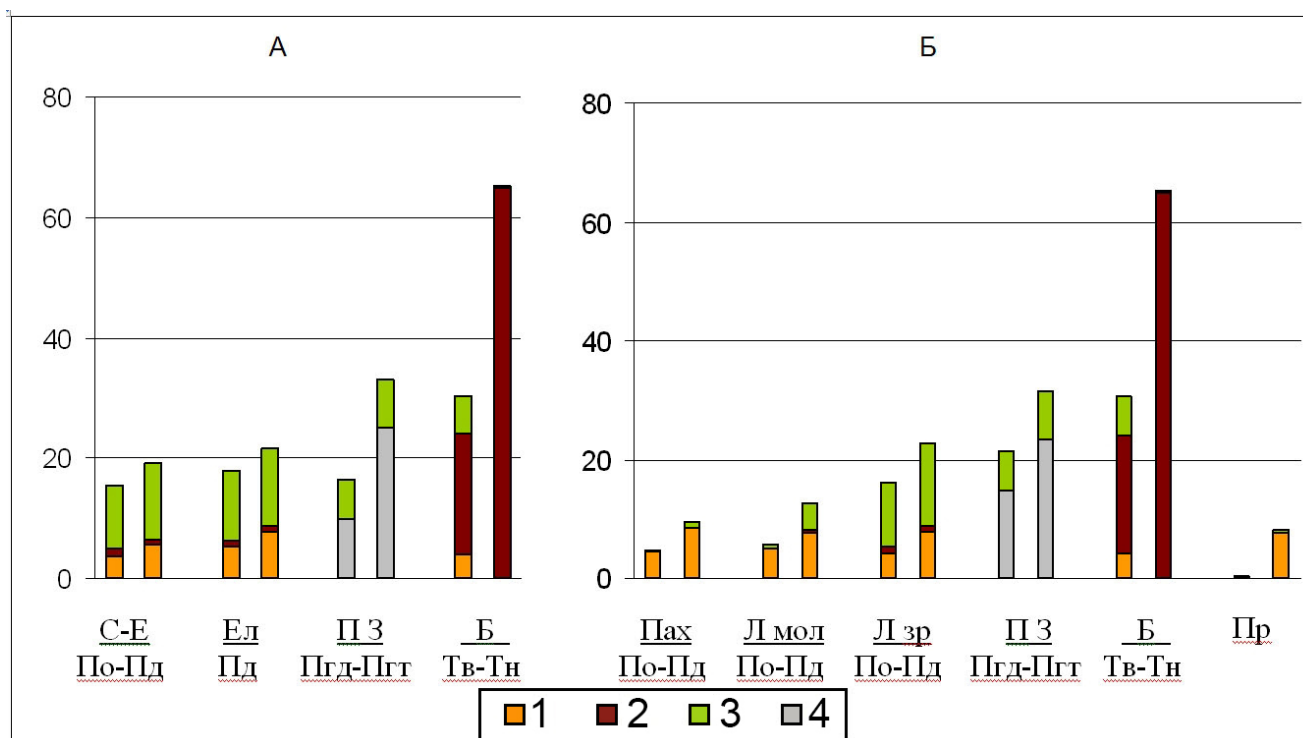


Рис. 2. – Запасы и соотношение пулов углерода в восстановленных и современных экосистемах южной тайги, кг/м²

1 – почва, 2 – подстилка и/или торф, 3 – фитомасса, 4 – минеральные + органогенные горизонты (для этих экосистем приведены суммарные запасы углерода в минеральных и органических горизонтах почв и подстилке).

А – потенциальные запасы углерода; Б – современные запасы углерода.

Обозначения экосистем приведены в таблице 2.

В настоящее время большая часть территории Костромской области используется в лесном хозяйстве: леса и нелесная древесная растительность занимают свыше 69 % площади, более половины ее покрыто мелколиственными (преимущественно березовыми) лесами, а остальное пространство поделено примерно поровну между сосняками и ельниками. Самыми старыми лесами, «спелыми и перестойными» (т.е. с возрастом 80-120 лет и выше), занято менее 15 % площади области, на молодые леса и зарастающие лесом залежи приходится около 30 %. В сельскохозяйственное производство вовлечено около 10 % территории, причем, пашня занимает лишь 3,5 %, сенокосы и пастбища – около 5,2, общая площадь залежных земель достигает 8 % (табл. 1).

В южно-таежном регионе на землях сельскохозяйственного назначения (пашнях, сенокосах, пастбищах) и землях лесного фонда запасы углерода в 100-см слое почв (включая подстилку) различаются незначительно (от 4,5 кг С/м² в легких по гранулометрическому составу дерново-подзолах до 8,5 кг С/м² в суглинистых дерново-подзолистых почвах) (табл. 2). Углеродный пул

Чернова О. В., Рыжова И. М., Подвезенная М. А., Изменение величины и структуры запасов углерода в регионах южной тайги и лесостепи Европейской России за исторический период // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 19; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-19/article-2>

фитомассы лесных земель в десять и более раз превышает таковой на землях сельскохозяйственного использования, кроме того, он значительно зависит от возраста и видового состава растительности, поэтому различия в современных запасах углерода в автоморфных экосистемах южной тайги определяются главным образом типом, возрастом и видовым составом растительности (рис 2Б).

Рассматривая соотношение основных углеродных пулов, актуальных и потенциальных, на территории Костромской области, можно отметить, что более половины общих потенциальных запасов органического углерода приходится на фитомассу лесных экосистем, которые в доантропогенный период занимали 90 % площади. При этом почвенный (включая подстилку) пул автоморфных лесных экосистем, составляет лишь 35 % общих запасов углерода. Экосистемы болот и переувлажненных лесов на различных оглеенных, торфянистых и перегнойных почвах, занимающие 8 % территории, вносят около 13 % в общие запасы углерода. Углеродный пул почв переувлажненных экосистем состоит преимущественно из углерода торфяной толщи и других органогенных горизонтов, при этом он значительно превышает пул фитомассы (в 6 раз). (рис 3).

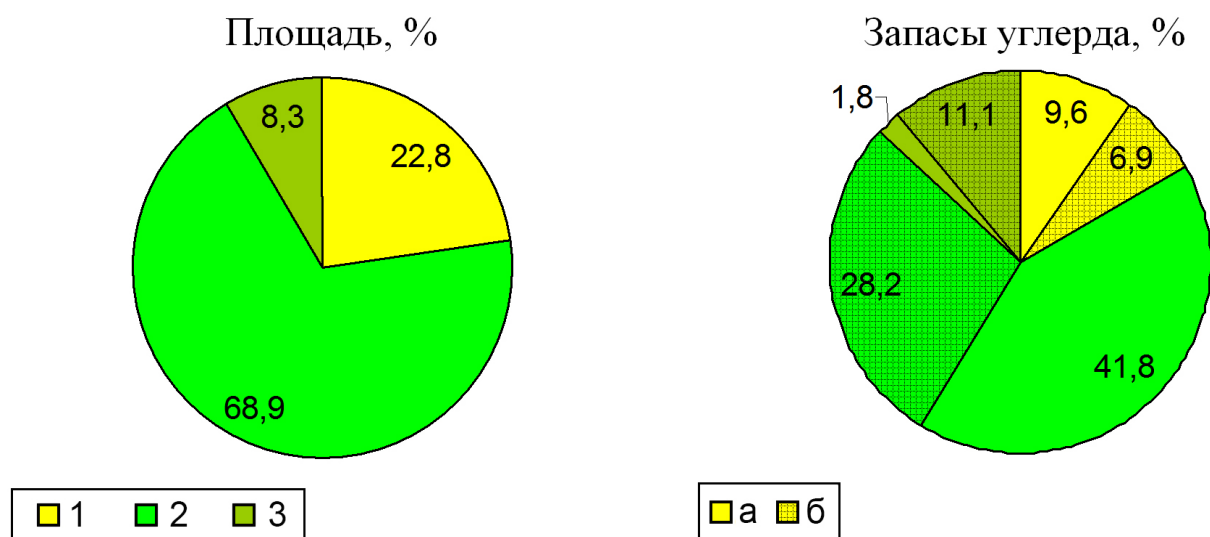


Рис. 3. – Соотношение площадей и пулов органического углерода основных восстановленных экосистем Костромской области

Экосистемы: 1 – сосняки на дерново-подзолах песчаных, супесчаных; 2 – сосняки и ельники на дерново-подзолистых легко-, средне- и тяжелосуглинистых почвах; 3 – болота и переувлажненные леса;

Запасы углерода: а – фитомасса, б – почвы.

В настоящее время величина почвенного пула достигает 60 % общих запасов углерода территории, на углерод торфа и органогенных горизонтов переувлажненных почв приходится более четверти этого количества. Вклад

фитомассы в общий запас углерода территории – около 40 %, причем «спелые и перестойные» леса обеспечивают 27 % углеродного пула фитомассы. Доля фитомассы сельскохозяйственных и постсельскохозяйственных земель в общих запасах углерода составляет только 0,5 %, тогда как занимаемая ими площадь превышает 16 % территории области (рис 4).

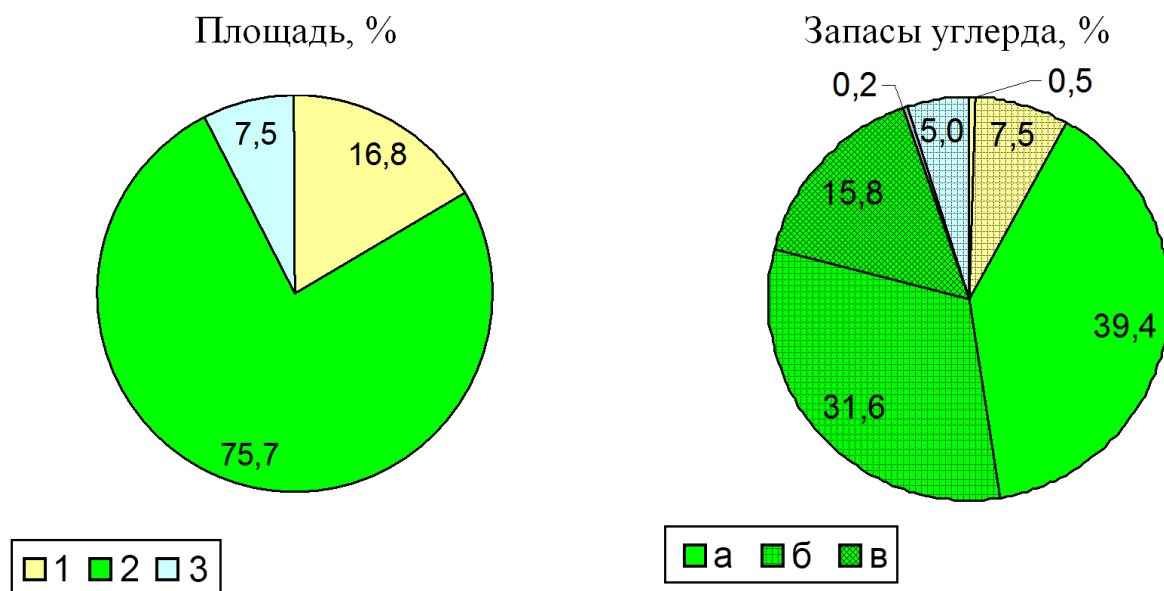


Рис. 4. – Соотношение площадей и пулов углерода основных современных экосистем Костромской области

Экосистемы: 1 – сельскохозяйственные земли; 2 – леса и другие лесные насаждения; 3 – остальное;

Запасы углерода: а – фитомасса; б – минеральная часть почв; в – торф и органогенные горизонты переувлажненных почв

Изменение величины и структуры запасов углерода в лесостепи

В доантропогенный период большую часть территории Курской области занимали экосистемы луговых и настоящих степей на оподзоленных, выщелоченных или типичных черноземах (60 %), около 12 % площади покрывали широколиственные леса на черноземах, а остальное пространство (28 %) приходилось на широколиственные или смешанные сосново-широколиственные леса преимущественно на различных серых лесных почвах (от светло- до темно-серых) различного гранулометрического состава. Схематическая карта восстановленных почвенно-растительных комплексов Курской области представлена на рис 5.

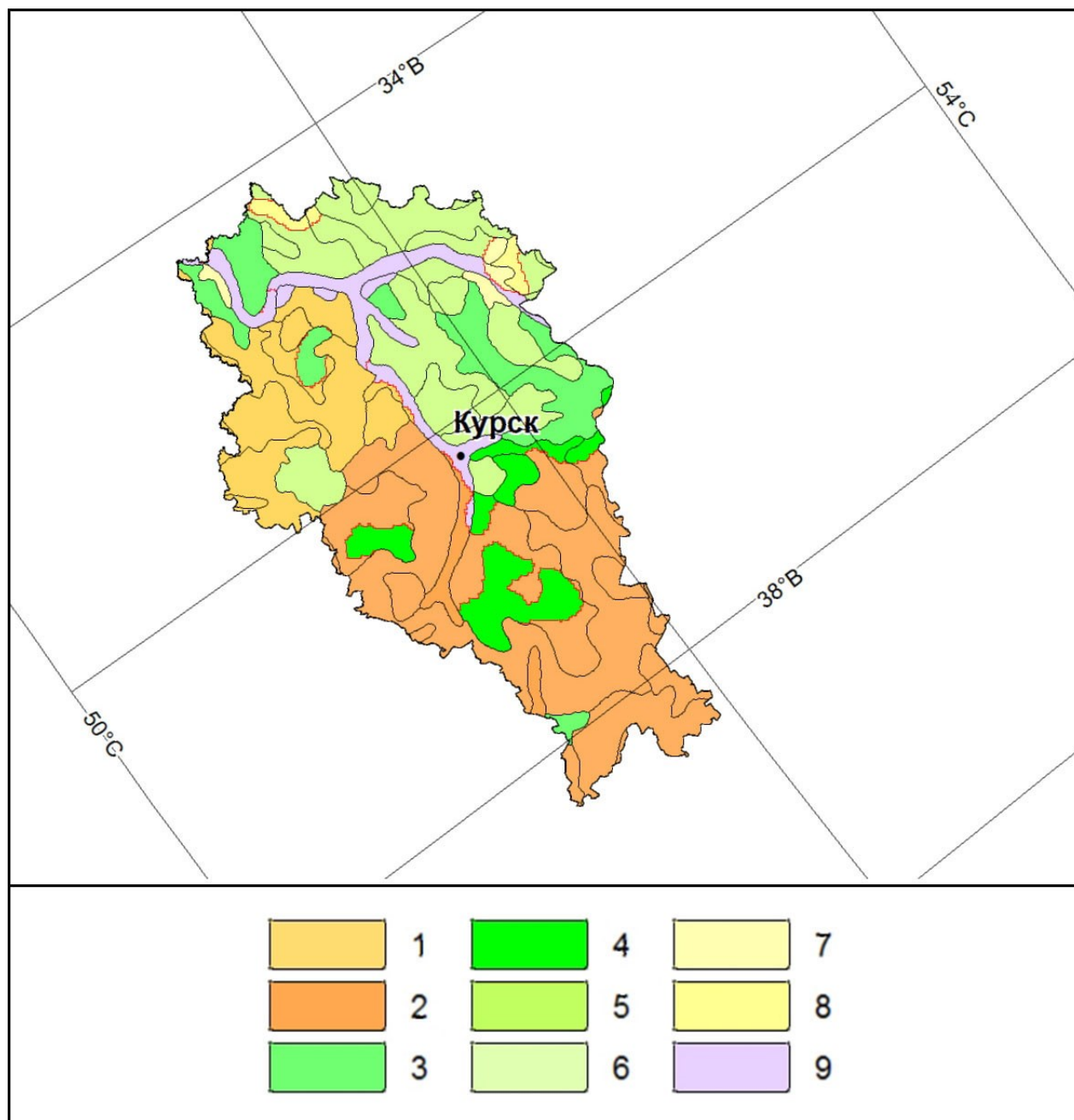


Рис. 5. – Схематическая карта восстановленных почвенно-растительных комплексов Курской области

Условные обозначения: Луговые степи на черноземах: 1 – оподзоленных и выщелоченных легко- и среднесуглинистых; 2 – выщелоченных и типичных тяжелосуглинистых; Липово-дубовые леса на: 3 – черноземах оподзоленных и выщелоченных легко- и среднесуглинистых; 4 – черноземах выщелоченных и типичных тяжелосуглинистых; 5 – серых и темно-серых лесных среднесуглинистых; 6 – дерново-подзолистых, серых и темно-серых лесных легкосуглинистых почвах; Сосново-широколиственные леса на: 7 – серых и темно-серых лесных среднесуглинистых почвах; 8 – дерново-подзолистых, серых и темно-серых лесных легкосуглинистых почвах; 9 – пойменные экосистемы.

Потенциальные запасы углерода в восстановленных экосистемах лесостепи изменяются от 15-18 кгС/м² в сосновых и сосново-широколиственных лесах на легких по гранулометрическому составу почвах (дерново-подзолах, дерново-подзолистых, светло-серых лесных) до 31-38 кг С/м² в настоящих и луговых степях на суглинистых черноземах (оподзоленных, выщелоченных и типичных) (табл.3). Экосистемы широколиственных лесов характеризуются наибольшим разбросом значений потенциальных запасов углерода. При формировании таких лесов на относительно бедных светло-серых и серых лесных почвах углеродный пул составляет 20-25 кгС/м², примерно поровну распределяясь между почвой и фитомассой. В широколиственных лесах на оподзоленных или выщелоченных черноземах запасы углерода могут достигать 40 кгС/м², при этом вклад почвенного пула в два раза превышает вклад фитомассы (табл.3). Соотношения пулов углерода (минимальные и максимальные значения) в основных естественных экосистемах лесостепи приводится на рис. 6А.

Таблица 3 – Запасы углерода в основных естественных и антропогенно-преобразованных экосистемах лесостепи

Растительность	Почвы	Гранулометрический состав почв	Запасы Сорг., кг/м ²						Индекс экосистемы рис. 6
			Почва		Подстилка, торф		Фитомасса		
			min	max	min	max	min	max	
Потенциальные									
Сосняки, сосново-широколиственные леса	дерново-подзолы иллювиально-железистые, дерново-подзолистые, светло-серые лесные	песчаные супесчаные легкосуглинистые	5,1	7,0	0,5	0,7	9,3	10,5	<u>С-Ш</u> По-Пд
Широколиственные леса	светло-серые лесные, серые лесные, темно-серые лесные, черноземы оподзоленные, выщелоченные	легко-, средне-, тяжелосуглинистые, глинистые	8,0	26,2	0,4	0,5	13,0	13,7	<u>Ш</u> СЛ-Ч
Степи: луговые, настоящие	черноземы оподзоленные, выщелоченные, типичные	легко-, средне-, тяжелосуглинистые, глинистые	30,3	36,5	0,1	0,2	0,6	0,8	<u>Ст</u> Чоп-Чт
Луга, луговые степи, лугово-кустарниковая растительность	пойменные слабокислые и нейтральные, лугово-черноземные	без разделения	21,0	36,5	0,2	0,3	0,9	7,4	<u>Луг</u> А-Чл
Современные									
Пашни	серые лесные, темно-серые лесные	легко-, средне-, тяжелосуглинистые	8,9	15,0	0,0	0,1	0,3	0,5	<u>Пах</u> СЛ
	черноземы оподзоленные, выщелоченные, типичные	легко-, средне-, тяжелосуглинистые	16,7	30,5	0,0	0,1	0,4	0,5	<u>Пах</u> Ч
Сенокосы, пастбища	серые лесные, темно-серые лесные, черноземы оподзоленные, выщелоченные, типичные	легко-, средне-, тяжелосуглинистые	10,0	31,7	0,2	0,3	0,6	0,9	<u>Сен</u> СЛ-Ч
Сосновые, сосново-широколиственные и широколиственные леса от молодых до полновозрастных	светло-серые, серые, темно-серые лесные, черноземы оподзоленные	песчаные, супесчаные, легко-, средне-, тяжелосуглинистые	7,0	18,0	0,4	0,5	5,8	12,3	<u>Лес</u> СЛ-Ч

Центрально-Черноземный заповедник	чернозем выщелоченный, типичный		28,0	44,0	0,5	0,2	0,7	13,7	<u>Зап</u> <u>Ч</u>
Дороги, земли застройки, прочие земли			0,3	19,4	0,0	0,1	0,0	1,0	Пр

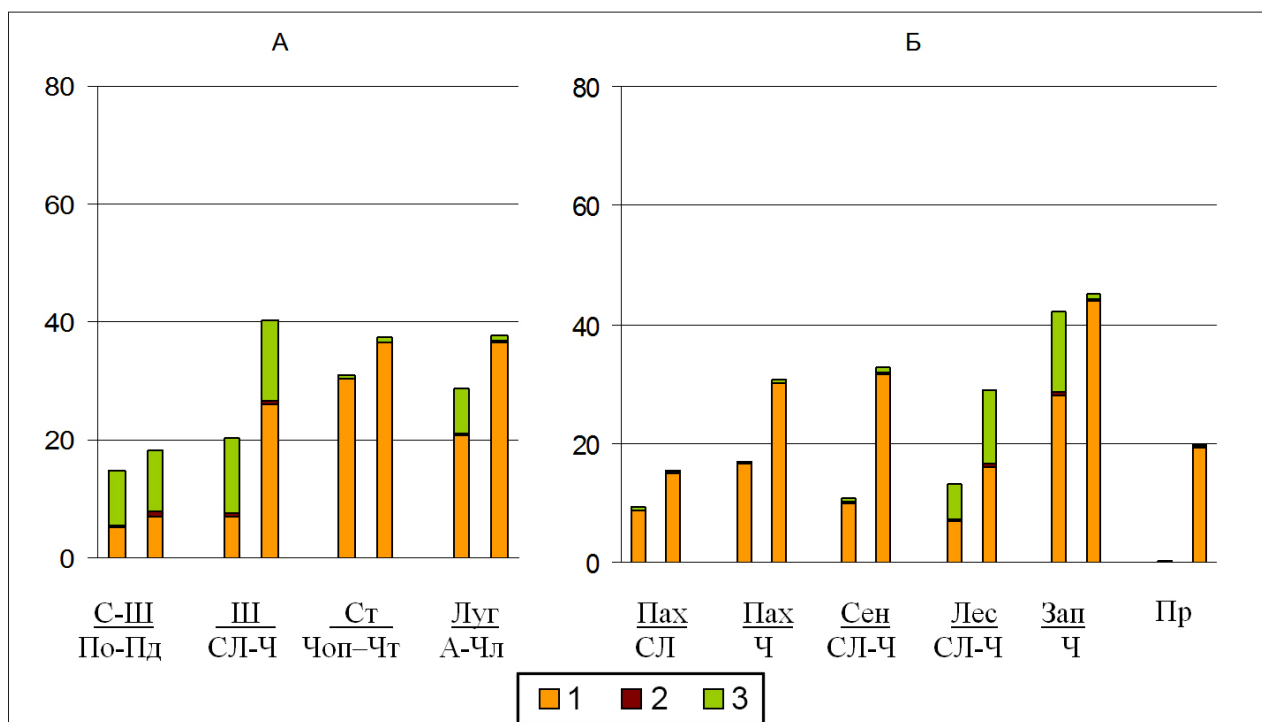


Рис. 6. – Запасы и соотношение пулов углерода в восстановленных и современных экосистемах лесостепи, кг/м²

1 – почва, 2 – подстилка, 3 – фитомасса.

А – потенциальные запасы углерода; Б – современные запасы углерода.

Обозначения экосистем приведены в таблице 3.

В настоящее время Курская область, как и многие другие лесостепные регионы, характеризуется высокой степенью антропогенной измененности: естественная растительность практически сведена, более 80 % площади занято землями сельскохозяйственного использования, среди которых преобладают пашни (50 %), на сенокосы и пастбища приходится 15 % территории, несколько более 10 % – на залежные земли. Часть оставленных под залежи в 1990-2012 гг. земель к настоящему времени вновь распаханно. На все покрытые древесной растительностью земли (леса и лесозащитные полосы) приходится около 10 % площади области (табл. 1).

Максимальные современные запасы углерода в Курской области (более 40-45 кг С/м²) характерны для целинных экосистем Центрально-Черноземного заповедника. Заметно ниже они в агроэкосистемах, как на серых лесных почвах (9,5-17 кг С/м²), так и на черноземах (17-33 кг С/м²) и в экосистемах лесного фонда (13-29 кг С/м²) (рис. 6Б).

В доантропогенный период почвы Курской области обеспечивали около 83 % потенциальных запасов углерода региона. Пул фитомассы лесных экосистем, которые до начала антропогенного освоения покрывали около 40 %

территории области, составлял немногим более 15 %, а почвенный пул – около 23 %; на почвы ненарушенных степей приходилось более 60 % общих запасов углерода. (рис 7). В настоящее время вклад почв в общие запасы углерода территории достигает 94 %, что обусловлено преобладанием черноземов в составе почвенного покрова и их высокой природной гумусированностью. Практически полное сведение естественной растительности привело к тому, что углеродный пул фитомассы составляет всего 5,8 % общего углеродного пула. На биомассу древесной растительности (леса и лесозащитные полосы), которые занимают менее 10 % площади, приходится 3,2 % общего углерода. Основной вклад в современные запасы вносят сельскохозяйственные земли (83,9 % – почвы; 2,3 % – фитомасса). (рис. 8).

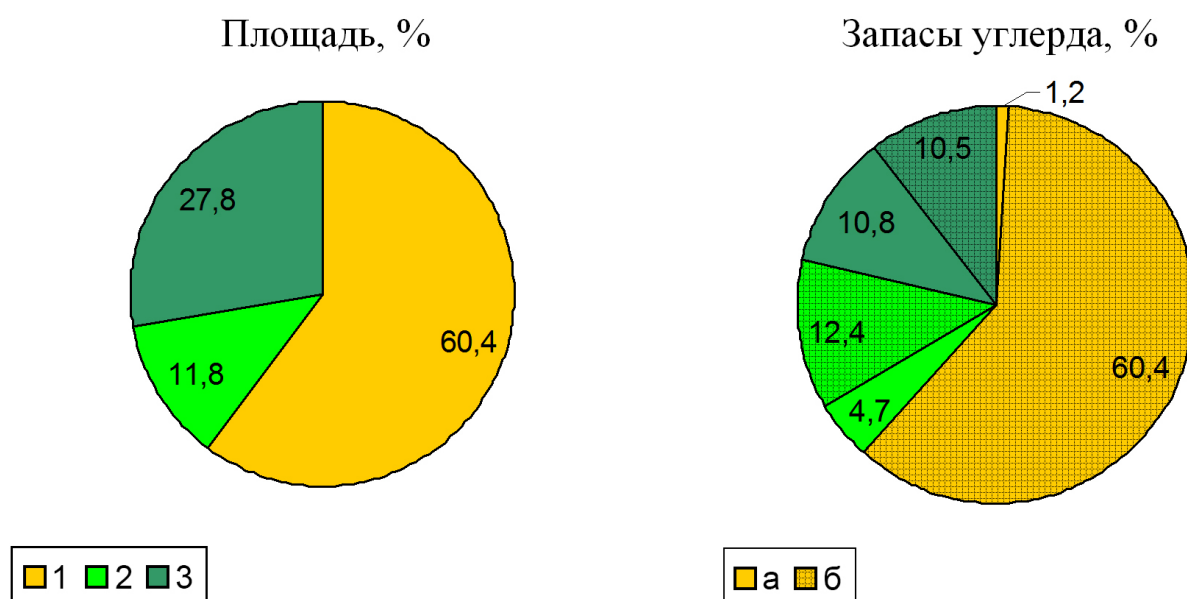


Рис. 7. – Соотношение площадей и пулов углерода основных восстановленных экосистем Курской области

Экосистемы: 1 – степи на черноземах (оподзоленных, выщелоченных, типичных); 2 – липово-дубовые леса на черноземах (оподзоленных, выщелоченных); 3 – липово-дубовые и сосново-широколиственные леса на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.
Запасы углерода: а – фитомасса, б – почвы

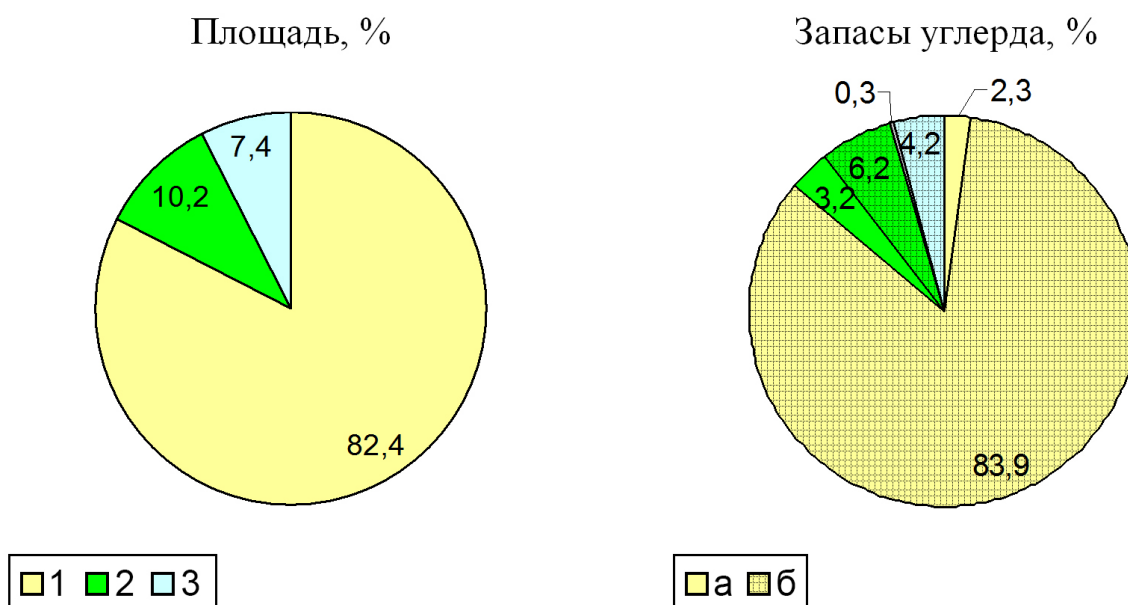


Рис. 8. – Соотношение площадей и пулов углерода основных современных экосистем Курской области

Экосистемы: 1 – сельскохозяйственные земли; 2 – леса и другие лесные насаждения; 3 – остальное.

Запасы углерода: а – фитомасса, б – почвы.

Сравнительная оценка динамики углеродных пулов в регионах южной тайги и лесостепи за период антропогенного использования

Общепризнано, что оценка запасов углерода и соотношения его пулов, а также их динамики при изменении режимов землепользования позволяет количественно оценить возможные выбросы CO_2 в результате различных антропогенных воздействий. [2]. По нашему мнению, сравнение актуальных и потенциальных запасов и пулов углерода характеризует их долговременную динамику за весь период антропогенного воздействия в регионах, испытавших многократные разнонаправленные смены типов землепользования. Особую ценность представляют площадные региональные оценки, которые позволяют получить представление об экологической устойчивости территории и могут способствовать разработке оптимальной стратегии развития, сочетающей экономическую целесообразность с поддержанием ассимиляционной способности экосистем и, следовательно, исторически сложившихся циклов вещества и энергии.

Наши расчеты показали, что углеродные пулы территорий обеих рассмотренных областей за исторический период заметно снизились: потенциальные запасы углерода на территории Костромской области составляют $1180 \cdot 10^6$ т, что приблизительно на 24 % превышает современные ($893 \cdot 10^6$ т); в Курской области потенциальные запасы органического углерода ($1016 \cdot 10^6$ т) выше актуальных ($693 \cdot 10^6$ т) на 32 %.

Поскольку степень урбанизированности рассмотренных областей различается незначительно: дорогами, нарушенными землями, землями

застройки, свалками, оврагами и т.п. занято менее 5 % площади (Костромская – 2,4; Курская – 4,6), то разницу между потенциальными и реальными запасами углерода можно рассматривать как суммарный результат влияния различной стратегии землепользования за антропогенный период в конкретных природных условиях. Углеродный пул фитомассы Костромской области (южная тайга) снизился более, чем на 40 %, что обусловлено активной лесохозяйственной деятельностью в регионе. Слабое развитие в Костромской области сельского хозяйства и близкие показатели запасов углерода в почвах сельскохозяйственных и лесных земель обуславливают незначительные различия в оценках потенциальных и современных запасов углерода в почвах области. Некоторое снижение современного углеродного пула почвы, включая подстилку и торф, по сравнению с потенциальным (на 1-2 %) обусловлено выработкой к настоящему времени части торфяных месторождений и исключением из оценки земель, значительно измененных антропогенным воздействием (дороги, свалки, нарушенные земли и т.п.). В Курской области (лесостепь) высокая степень распашки территории и практически полное сведение древесной растительности привели к выраженному снижению углеродных пулов, как фитомассы, так и почвы (почти на 75 % и на 23-27 %, соответственно) (табл. 4).

Таблица 4 – Современные запасы углерода на территориях модельных областей, % от потенциальных

Пулы углерода \ Область	Костромская	Курская
Общие запасы	76	68
Фитомасса	57	24
Почва	98-99	73-77

Сравнение средневзвешенных показателей общих запасов углерода, соотношения пулов и их динамики позволяет оценить природные и хозяйственные особенности рассмотренных областей. Так, общие запасы органического углерода на территории Курской области значительно превышают таковые в Костромской области: потенциальные – почти в 2 раза, современные – в 1,5 раза (рис. 9). В обоих регионах за период антропогенного использования запасы фитомассы заметно снизились, как по абсолютной величине, так и относительно общих запасов углерода (табл. 4, рис. 9). В Костромской области, где значительная площадь занята в настоящее время молодыми лесами, единственной возможностью увеличения общих запасов углерода территории является повышение доли полновозрастных лесов в

лесном фонде, что будет сопровождаться накоплением фитомассы и лесной подстилки при их формировании. В Курской области, где в настоящее время древесные насаждения занимают ничтожные площади, повышение запасов растительной биомассы особенно актуально. Для достижения этой цели должны быть использованы все возможности: восстановление лесной растительности, хотя бы на неудобьях и эрозионноопасных участках, расширение и оптимизация системы защитных полос, создание сети экологических коридоров, а также повышение доли садов в структуре сельскохозяйственных земель. В лесостепных регионах лесные насаждения, находящиеся на южной границе своего ареала, кроме повышения запасов органического углерода территории за счет накопления растительной биомассы, способствуют сохранению биологического разнообразия, регуляции гидрологического режима и создают благоприятный микроклимат.

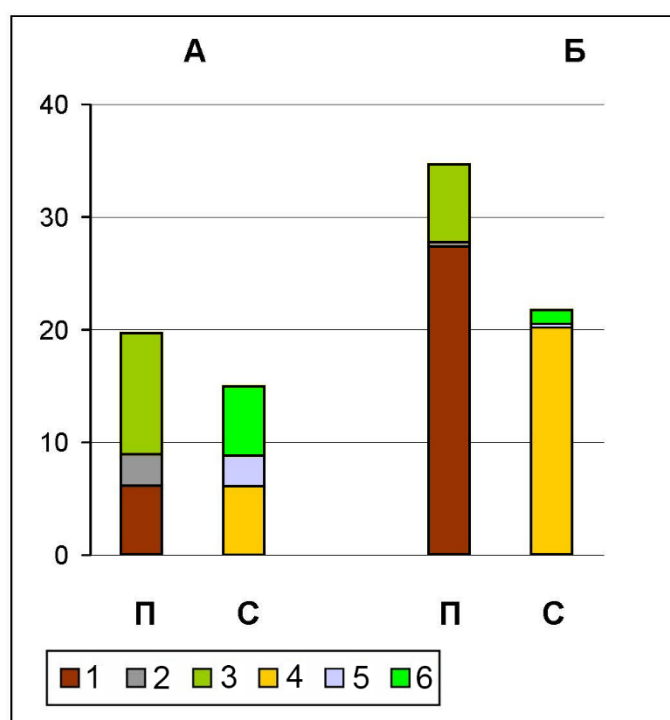


Рис. 9. – Средневзвешенные потенциальные и современные запасы органического углерода в почвах модельных областей, кг/м²

1, 4 – минеральная толща, 2, 5 – органогенные горизонты (подстилка, торф, степной войлок), 3, 6 – фитомасса; А – Костромская, Б – Курская; Запасы углерода, кг/м²: П – потенциальные; С – современные.

Пахотные почвы южной тайги по запасам гумуса сравнимы с естественными аналогами, учитывая невысокую степень распашки Костромской области, на их долю приходится лишь 2,5-3,0 % от общих запасов углерода. По этой причине трудно ожидать повышения запасов органического вещества в почвах области вследствие зарастания залежных земель. Заметный вклад (почти треть) в запасы

углерода вносят мощные органогенные горизонты (торфяные, торфянистые, перегнойные) переувлажненных почв. Органическое вещество таких почв значительно менее устойчиво к разложению по сравнению с гумусом минеральных горизонтов, поэтому баланс углерода региона может коренным образом измениться при смене режима их функционирования (осушении, пожарах, разработке торфяных залежей и др.).

Большая часть углеродного пула лесостепи приходится на почвы – темно-серые лесные и высокогумусированные черноземы (оподзоленные, выщелоченные, типичные), именно этот углерод в большой мере обеспечивает высокое плодородие этих почв. Перевод существенных площадей пахотных земель в залежи в лесостепном регионе вряд ли возможен, но оптимизация структуры сельскохозяйственных земель с увеличением доли пастбищ, сенокосов и участков восстановленной растительности за счет сокращения пашни может предотвратить дальнейшее снижение и, возможно, позволит несколько увеличить запасы углерода в почвах.

Пул органического углерода почвы значительно более стабилен по сравнению с растительной биомассой, при отсутствии эрозии, даже в условиях истощительного землепользования, значительная часть гумуса сохраняется. Расчеты показали, что за исторический период на территориях рассмотренных областей соотношение углеродных пулов сдвинулось в сторону почв, в настоящее время запасы углерода в 100-см слое почв, включая подстилку и торф, превышают таковые в фитомассе (в Курской области – многократно) (рис. 9). Таким образом, интенсификация антропогенного использования территории, как в лесном, так и в сельскохозяйственном производстве, повышает роль почвенного покрова в поддержании углеродного баланса регионов.

Заключение

Предложен и опробован алгоритм региональной оценки потенциальных и актуальных запасов углерода для территорий субъектов РФ. Вычисления базируются на единой картографической основе, учитывают таксономическую принадлежность и гранулометрический состав почв, типы современных земельных угодий и типо-возрастную структуру восстановленной и современной растительности. Расчеты выполнены на примере двух административных областей Европейской России: Костромской (южная тайга) и Курской (лесостепь). Разница в оценках потенциальных и актуальных углеродных пулов принимается за изменение запасов углерода за исторический период на территориях, различающихся по природным особенностям и преобладающим типам землепользования.

Согласно расчетам, запасы органического углерода уменьшились на 24 % на территории Костромской области, и на 32 % – в Курской области. В Костромской области (южная тайга) заметное снижение углеродного пула фитомассы (на 40 %) обусловлено активным использованием лесного фонда, а

незначительное уменьшение запасов органического углерода в почвах (на 1-2 %) – слабым развитием здесь сельскохозяйственного производства. Углеродный пул фитомассы в современных лесах может превышать почвенный пул, поэтому различия в запасах углерода в автоморфных экосистемах определяются главным образом типом и возрастом растительности. Максимальными запасами органического углерода характеризуются болотные торфяные почвы (24-65 кг/м²), в автоморфных почвах сельскохозяйственных угодий (пашен, сенокосов и пастбищ), и лесов запасы углерода различаются незначительно (от 4,5 кг/м² в 100-см толще легких по гранулометрическому составу дерново-подзолах до 7,5 кг/м² в суглинистых дерново-подзолистых почвах), поэтому в южной тайге перевод пахотных земель в залежи не может оказать существенного влияния на увеличение запасов органического углерода в почве, но способствует повышению общих запасов углерода в экосистемах за счет роста растительной биомассы и формирования подстилки.

В Курской области (лесостепь) высокая степень распашки территории и практически полное сведение древесной растительности привели к значительному снижению углеродных пулов как фитомассы, так и почвы (на 75 и 23-27 %, соответственно). Максимальные запасы почвенного углерода (33-38 кг С/м²), характеризуют целинные тяжелосуглинистые и глинистые выщелоченные и типичные черноземы, в пахотных аналогах они значительно ниже (23-28 кг С/м²). Широкомасштабный перевод пахотных земель в залежи здесь невозможен по экономическим соображениям, но оптимизация структуры сельскохозяйственных земель, включающая увеличение площади пастбищ и сенокосов за счет сокращения пахотных земель и увеличение размеров участков древесных насаждений может несколько увеличить запасы углерода территории и предотвратит их дальнейшее снижение. Таким образом, природно-географические и хозяйственные особенности регионов обуславливают различие стратегий оптимизации использования земель для сохранения запасов углерода и повышения экологической устойчивости регионов. Общим является лишь требование повышения «мозаичности» территорий по типам угодий, составу и возрасту растительности с обязательным сохранением участков с целинными, минимально-нарушенными или восстановленными природными комплексами.

Показано, что в обеих областях в настоящее время запасы углерода в 100-см слое почвы превышают таковые в фитомассе (в лесостепи – многократно), т.е. интенсификация антропогенного использования территории, как в лесном, так и в сельском хозяйстве, повышает роль почвенного покрова в поддержании углеродного баланса региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №15-04-03564 и 16-04-00592).

Список литературы

1. Вомперский, С. Э., Иванов, А. И., Цыганова, О. П., Валяева, Н. А., Глухова, Т. В., Дубинин, А. И., Глухов, А. И., Маркелова, Л. Г. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение, 1994. №12. – С. 17-25.
2. Живая планета 2010. Биоразнообразие, биоёмкость и развитие. Доклад. WWF International. (wwf-lpr2010_rus_part01-3).
3. Замолодчиков, Д. Г., Грабовский, В. И., Краев, Г. Н. Региональная оценка бюджета углерода лесов (РОБУЛ). Версия 1.1. М.: ЦЭПЛ РАН. 2011. www.cepl.rssi.ru/regional.htm.
4. Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2012 г. Стат.сб. // Росреестр. М., 2012.
5. Информационно-аналитическое управление Костромской области. Информация о месторождениях торфа на территории Костромской области. (<http://dip-kostroma.ru/news/1409.html>).
6. Исаев, А. С., Коровин, Г. Н., Уткин, А. И., Пряжников, А. А., Замолодчиков, Д. Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. №6. – С. 3-10.
7. Карта почвенно-географического районирования. // Под ред. Г. В. Добровольского, И. С. Урусевской, И. О. Алябиной Национальный атлас почв Российской Федерации. 2011.
8. Карта растительности СССР (для высших учебных заведений) М. 1:4000000. М. ГУГК., 1990.
9. Кудряшова, С. Я., Байков, К. С., Титлянова, А. А., Дитц, Л. Ю., Косых, Н. П., Махатков, И. Д., Шибарева, С. В. Распределенная ГИС для оценки запасов углерода в почвах бореальной зоны Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2011. т. 18. №5. – С. 641-655.
10. Левин, Ф. И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агрехимия. 1977. №8. – С. 36-42.
11. Лесной план Костромской области. <http://adm44.ru/economy/wood/>.
12. Лесной план Курской области. 2008. <http://adm.rkursk.ru/>.
13. Люри, Д. И., Горячкин, С. В., Караваева, Н. А., Денисенко, Е. А., Нефедова, Т. Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв // М. ГЕОС, 2010. – 416 с.
14. Орлов, Д. С., Бирюкова, О. Н., Суханова, Н. И. Органическое вещество почв Российской Федерации // М. Наука, 1996. – 254 с.
15. Почвенная карта РСФСР // Под ред. В. М. Фридланда. Масштаб 1:2500000. М.: ГУГУК. 1988 (Скорректированная цифровая версия, 2007).

16. Природно-ресурсный потенциал Курской области. Торф.
<http://kurskoblinvest.ru/o-regione/prirodno-resursnyj-potentsial>
17. Продуктивность экосистем Северной Евразии, (на основе работ Базилевич, 1979, 1993 и др.; Базилевич, Тишков, 1981, 1983, 1986, 1988; Bazilevich, Tishkov, 1997; Базилевич и др., 1987, 1988; Вильчек, 1984, 1986, 1987; Тишков, 1986; Тишков, Турсина, 1985, 1986; Тишков, Шеремет, 1986; Тишков, Царевская, 1995; Царевская, 1989 и др.)
<http://biodat.ru/db/prod/index.htm/>
18. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. Стат. сб. // Росстат. М., 2012.
19. Рыжова, И. М., Подвезенная, М. А. Запасы гумуса в автономных почвах природных экосистем Восточно-Европейской равнины и их чувствительность к изменениям параметров круговорота углерода // Почвоведение. 2003. № 9. – С.1043-1049.
20. Рыжова, И. М., Подвезенная, М. А. Теоретическая и экспериментальная оценка запасов гумуса в автономных почвах природных экосистем Восточно-Европейской равнины // Вестник Моск. ун-та. сер.17. Почвоведение. 2001. №3. – С. 33-38.
21. Семенов, В. М., Когут, Б. М. Почвенное органическое вещество // М. ГЕОС, 2015. – 232 с.
22. Титлянова, А. А., Булавко, Г. И. Кудряшова, С. Я., Наумов, А. В., Смирнов, В. В., Танасиенко, А. А. Запасы и потери органического углерода в почвах Сибири // Почвоведение. 1998. №1. – С. 51-59.
23. Титлянова, А. А., Кудряшова, С. Я., Косых, Н. П., Шибарева, С. В. Биологический круговорот углерода и его изменение под влиянием деятельности человека на территории Южной Сибири // Почвоведение. 2005. №10. – С. 1240-1250.
24. Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России /Замолодчиков Д. Г., Коровин Г. Н., Уткин А. И., Честных О. В., Сонген Б./ М. Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 212 с.
25. Углерод в экосистемах лесов и болот России // Под ред. В. А. Алексеева, Р. А. Бердси. Красноярск, 1994. – 224 с.
26. Усольцев, В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география // Екатеринбург. УрО РАН, 2001. – 707 с.
27. Уткин, А. И., Замолодчиков, Д. Г., Честных, О. В., Коровин, Г. Н., Зукерт, Н. В., Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. №5. – С. 8-23.
28. Чернова, О. В., Рыжова, И. М., Подвезенная, М. А. Опыт региональной оценки изменений запасов углерода в почвах южной тайги и лесостепи за исторический период // Почвоведение. 2016. №8. – С. 1013-1028.
29. Щепаченко, Д. Г., Мухортова, Л. В., Швиденко, А. З., Ведрова, Э. Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. №2. – С. 123-132.

30. Chiarucci, A., Araujo, M. B., Decocq, G., Beierkuhnlein, C., Fernandez-Palacios, J. M. The concept of potential natural vegetation: an epitaph? // *Journal of Vegetation Science*. 2010. – P. 1-7.
31. Guo, L. B., Gifford, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* v. 8. Is. 4. 2002. – P. 345–360 (DOI: 10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x)
32. IPCC (2006) Generic methodologies applicable to multiple land use categories // In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (eds Eggleston H., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K.). Intergovernmental Panel on Climate Change, Hayama, Kanagawa, Japan.
33. Nieder, R., Benbi, D. K. Carbon and Nitrogen in the Terrestrial // Springer. 2008. – 430 p.
34. Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B. A. S., Schumacher, J., and Gensior, A.: Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach // *Glob. Change Biol.* 2011. v. 17. – P. 2415–2427.
35. Post, W. M., Kwon, K. C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential // *Global Change Biology*. 2000. V. 6. – P. 317–328.
36. Smith, P., Davies, C. A., Ogle, S., Zanchi, G., Bellarby, J., Bird, N., Boddey, R., McNamara, N. P., Powlson, D., Cowie, A., van Noordwijk, M., Davis, S. C., de B. Richter, D., et al. Towards an integrated global framework to assess the impacts of land use and management change on soil carbon: current capability and future vision // *Global Change Biology*. 2012. (DOI: 10.1111/j. 1365-2486.2012.02689.x.)

Spisok literatury

1. Vomperskij, S. E', Ivanov, A. I., Cyganova, O. P., Valyaeva, N. A., Gluxova, T. V., Dubinin, A. I., Gluxov, A. I., Markelova, JI. G. Zabolochennye organogennye pochvy i bolota Rossii i zapas ugleroda v ix torfax // *Pochvovedenie*, 1994. №12. – S. 17-25.
2. Zhivaya planeta 2010. Bioraznoobrazie, bioemkost' i razvitie. Doklad. WWF International. (wwf-lpr2010_rus_part01-3).
3. Zamolodchikov, D. G., Grabovskij, V. I., Kraev, G. N. Regional'naya ocenka byudzheta ugleroda lesov (ROBUL). Versiya 1.1. M.: CE'PL RAN. 2011. www.cepl.rssi.ru/regional.htm.
4. Zemel'nyj fond Rossijskoj Federacii na 1 yanvarya 2012 g. Stat. sb. // Rosreestr. M., 2012.
5. Informacionno-analiticheskoe upravlenie Kostromskoj oblasti. Informaciya o mestorozhdeniyax torfa na territorii Kostromskoj oblasti. (<http://dip-kostroma.ru/news/1409.html>).

6. Isaev, A. S., Korovin, G. N., Utkin, A. I., Pryazhnikov, A. A., Zamolodchikov, D. G. Ocenka zapasov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnyx e'kosistem Rossii // *Lesovedenie*. 1993. №6. – S. 3-10.
7. Karta pochvenno-geograficheskogo rajonirovaniya. // Pod red. G. V. Dobrovolskogo, I. S. Urusevskoj, I. O. Alyabinoj Nacional'nyj atlas pochv Rossijskoj Federacii. 2011.
8. Karta rastitel'nosti SSSR (dlya vysshix uchebnyx zavedenij) M. 1:4000000. M. GUGK., 1990.
9. Kudryashova, S. Ya., Bajkov, K. S., Titlyanova, A. A., Dits, L. Yu., Kosyx, N. P., Maxatkov, I. D., Shibareva, S. V. Raspredeleonnaya GIS dlya ocenki zapasov ugleroda v pochvax boreal'noj zony Zapadnoj Sibiri // *Sibirskij e'kologicheskij zhurnal*. 2011. t. 18. №5. – S. 641-655.
10. Levin, F. I. Kolichestvo rastitel'nyx ostatkov v posevax polevyx kul'tur i ego opredelenie po urozhayu osnovnoj produkcii // *Agroximiya*. 1977. №8. – S. 36-42.
11. Lesnoj plan Kostromskoj oblasti. <http://adm44.ru/economy/wood/>.
12. Lesnoj plan Kurskoj oblasti. 2008. <http://adm.rkursk.ru/>.
13. Lyuri, D. I., Goryachkin, S. V., Karavaeva, N. A., Denisenko, E. A., Nefedova, T. G. Dinamika sel'skoxozyajstvennyx zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv // *M. GEOS*, 2010. – 416 s.
14. Orlov, D. S., Biryukova, O. N., Suxanova, N. I. Organicheskoe veshhestvo pochv Rossijskoj Federacii // *M. Nauka*, 1996. – 254 s.
15. Pochvennaya karta RSFSR // Pod red. V. M. Fridlanda. Masshtab 1:2500000. M.: GUGUK. 1988 (Skorrektirovannaya cifrovaya versiya, 2007).
16. Prirodno-resursnyj potencial Kurskoj oblasti. Torf. <http://kurskoblinvest.ru/o-regione/prirodno-resursnyj-potentsial>
17. Produktivnost' e'kosistem Severnoj Evrazii, (na osnove rabot Bazilevich, 1979, 1993 i dr.; Bazilevich, Tishkov, 1981, 1983, 1986, 1988; Bazilevich, Tishkov, 1997; Bazilevich i dr., 1987, 1988; Vil'chek, 1984, 1986, 1987; Tishkov, 1986; Tishkov, Tursina, 1985, 1986; Tishkov, Sheremet, 1986; Tishkov, Carevskaya, 1995; Carevskaya, 1989 i dr.). <http://biodat.ru/db/prod/index.htm/>
18. Regiony Rossii. Osnovnye xarakteristiki sub'ektov Rossijskoj Federacii. Stat. sb. // *Rosstat*. M., 2012.
19. Ryzhova, I. M., Podvezennaya, M. A. Zapasy gumusa v avtonomnyx pochvax prirodnyx e'kosistem Vostochno-Evropejskoj ravniny i ix chuvstvitel'nost' k izmeneniyam parametrov krugovorota ugleroda // *Pochvovedenie*. 2003. № 9. – S.1043-1049.
20. Ryzhova, I. M., Podvezennaya, M. A. Teoreticheskaya i e'ksperimental'naya ocenka zapasov gumusa v avtonomnyx pochvax prirodnyx e'kosistem Vostochno-Evropejskoj ravniny // *Vestnik Mosk. un-ta. ser.17. Pochvovedenie*. 2001. №3. – S. 33-38.
21. Semenov, V. M., Kogut, B. M. Pochvennoe organicheskoe veshhestvo // *M. GEOS*, 2015. – 232 s.

22. Titlyanova, A. A., Bulavko, G. I., Kudryashova, S. Ya., Naumov, A. V., Smirnov, V. V., Tanasienko, A. A. Zapasy i poteri organicheskogo ugleroda v pochvax Sibiri // *Pochvovedenie*. 1998. №1. – S. 51-59.
23. Titlyanova, A. A., Kudryashova, S. Ya., Kosyx, N. P., Shibareva, S. V. Biologicheskij krugovorot ugleroda i ego izmenenie pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka na territorii Yuzhnoj Sibiri // *Pochvovedenie*. 2005. №10. – S. 1240-1250.
24. Uglerod v lesnom fonde i sel'skoxozyajstvennyx ugod'yax Rossii /Zamolodchikov D. G., Korovin G. N., Utkin A. I., Chestnyx O. V., Songen B./ M. Tovarishhestvo nauchnyx izdanij KMK, 2005. – 212 s.
25. Uglerod v e'kosistemax lesov i bolot Rossii // Pod red. V. A. Alekseeva, R. A. Berdsi. Krasnoyarsk, 1994. – 224 s.
26. Usol'cev, V. A. Fitomassa lesov Severnoj Evrazii: baza dannyx i geografiya // Ekaterinburg. UrO RAN, 2001. – 707 s.
27. Utkin, A. I., Zamolodchikov, D. G., Chestnyx, O. V., Korovin, G. N., Zukert, N. V., Lesa Rossii kak rezervuar organicheskogo ugleroda biosfery // *Lesovedenie*. 2001. №5. – S. 8-23.
28. Chernova, O. V., Ryzhova, I. M., Podvezennaya, M. A. Opyt regional'noj ocenki izmenenij zapasov ugleroda v pochvax yuzhnoj tajgi i lesostepi za istoricheskij period // *Pochvovedenie*. 2016. №8. – S. 1013-1028.
29. Shhepashhenko, D. G., Muxortova, L. V., Shvidenko, A. Z., Vedrova, E'. F. Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvax Rossii // *Pochvovedenie*. 2013. №2. – S. 123-132.
30. Chiarucci, A., Araujo, M. B., Decocq, G., Beierkuhnlein, C., Fernandez-Palacios, J. M. The concept of potential natural vegetation: an epitaph? // *Journal of Vegetation Science*. 2010. – P. 1-7.
31. Guo, L. B., Gifford, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* v. 8. Is. 4. 2002. – P. 345–360 (DOI: 10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x)
32. IPCC (2006) Generic methodologies applicable to multiple land use categories // In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (eds Eggleston H., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K.). Intergovernmental Panel on Climate Change, Hayama, Kanagawa, Japan.
33. Nieder, R., Benbi, D. K. Carbon and Nitrogen in the Terrestrial // Springer. 2008. – 430 p.
34. Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B. A. S., Schumacher, J., and Gensior, A.: Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach // *Glob. Change Biol*. 2011. v. 17. – P. 2415–2427.
35. Post, W. M., Kwon, K. C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential // *Global Change Biology*. 2000. V. 6. – P. 317–328.
36. Smith, P., Davies, C. A., Ogle, S., Zanchi, G., Bellarby, J., Bird, N., Boddey, R., McNamara, N. P., Powlson, D., Cowie, A., van Noordwijk, M., Davis, S. C., de

B. Richter, D., et al. Towards an integrated global framework to assess the impacts of land use and management change on soil carbon: current capability and future vision // *Global Change Biology*. 2012. (DOI: 10.1111/j. 1365-2486.2012.02689.x.)