

УДК 631.417.1/2

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ТУНДРОВЫХ И ЛЕСОТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ РОССИИ

© 1999 г. О. В. Честных, Д. Г. Замолодчиков, Д. В. Карелин

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117418 Москва, ул. Новочеремушкинская, 69

Поступила в редакцию 25.12.98 г.

Проанализирована оригинальная база данных по почвенным описаниям, выполненным на территории России. Для различных ландшафтов тундровой зоны оценены средние значения запасов углерода и рассмотрены особенности их географического распределения. Рассчитаны абсолютные значения запасов тундровой зоны и ее регионов. Проведено сравнение результатов с оценками других авторов для тундр России и Мира. Сопоставлены общие количества углерода в фитомассе, фитодетрите и почвах российских тундр.

Проблема глобальных изменений климата стала сейчас предметом обсуждения не только научной, но и широкой общественности. Арктические экосистемы признаются наиболее чувствительными к изменениям климата и в свою очередь способны оказывать воздействия на сами эти изменения по принципу обратной связи (Billings et al., 1982). В значительной степени эти связи осуществляются через биогенный круговорот, масштабнее всего выраженный в цикле углерода. Отсюда вытекает важность комплексной оценки параметров углеродного цикла в Арктике и Субарктике, включая запасы и потоки этого элемента в различных компонентах природных систем.

Подчеркнем, что тундры, занимая по различным оценкам около 8% площади от всех наземных экосистем, по сумме запасов двух основных пулов углерода (в почве и фитомассе) занимают одно из ведущих мест среди остальных биомов. Так, на них приходится 13.7% (191.8 Гт С) от общего количества углерода (1395.3 Гт С), аккумулированного в почве (Ajtay et al., 1979). Следует тем не менее отметить, что оценки мировых и региональных запасов почвенного углерода и их распределение по зональным экосистемам отличаются у разных авторов. Зачастую полученные оценки являются экспертными либо рассчитываются путем простой экстраполяции ограниченного числа полевых данных на огромные площади без учета почвенной мозаики. Большие трудности возникают при сравнении и сопоставлении независимых оценок, поскольку исследователи, как правило, используют различные основы для географических обобщений (например, разнообразные карты типов почв или растительности, обобщенные схемы или справочные материалы).

Цель данной работы – получение уточненных оценок как средних, так и суммарных запасов уг-

лерода в почвах тундровой зоны России с учетом естественных неоднородностей в распределении почвенного органического вещества. Исследование является частью программы по изучению круговорота углерода в Российской Арктике, в рамках которой ранее были оценены запасы углерода в фитомассе (Карелин и др., 1995) и его биогенные макропотоки (Замолодчиков и др., 1999; в печати). Все эти исследования выполнены с использованием единой географической основы (Исаченко и др., 1988), что позволяет получить комплексную характеристику круговорота углерода для тундр России с дифференциацией для подзон и регионов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Определение “органическое вещество почвы” в русской научной литературе применяется в разных смыслах. В настоящей работе этот термин используется в широком смысле, в него лишь не включаются живое органическое вещество почвы и полуразложившиеся органические остатки, сохраняющие какую-либо структуру. Источником исходной информации послужила оригинальная база данных по почвенным описаниям, выполненным на территории России. Из общего массива данных было отобрано 260 почвенных разрезов, относящихся к исследуемой природной зоне.

Запасы органического вещества рассчитывали для каждого разреза, исходя из сведений о величине объемной массы (объемного веса), процентном содержании органического вещества и глубине каждого горизонта (включая гор. А0), после чего все полученные значения суммировали. Если в профиле разреза отсутствовали данные по процентному содержанию органического вещества для некоторых горизонтов, то они апп-

роксирировались с учетом данных по близлежащим горизонтам или по аналогичным разрезам.

Существенные трудности для проведения расчетов создавало отсутствие информации по объемной массе в значительной части описаний разрезов. Для преодоления этих трудностей из базы данных были выбраны разрезы с определением объемного веса по всем горизонтам, затем их систематизировали по географическим подзонам, типам растительности и типам почв. На основе полученных таким путем усредненных величин были вычислены недостающие значения объемного веса в остальных описаниях с точностью до первого знака.

Методика расчета включала как запасы органического вещества в верхних горизонтах, которые могут быть отнесены к гор. А0 (подстилке), так и в заторфованных горизонтах подзолисто-болотных почв. Запасы органического вещества рассчитывали для всего слоя почвы, описанном в соответствующем литературном источнике. Толщина слоя разных типов зональных тундровых и интразональных почв колебалась от 20 до 100 см. Из расчетов были исключены разрезы с толщиной слоя до 20 см и содержанием органического вещества только в одно-двух горизонтах. Для оценки запасов углерода принимали, что 1 кг органического вещества почвы эквивалентен 0,57 кг углерода (Кобак, 1988).

Основой для географических обобщений служила компьютерная карта тундровых ландшафтов России (Карелин и др., 1995), построенная по ландшафтной карте А.Г. Исаченко с соавторами (1988) масштаба 1 : 4000000. Расчет площадей, обработка и вывод изображений проводились с помощью пакета картографических программ IDRISI 4.0. Компьютерная карта позволила оценить площади отдельных ландшафтов, регионов и рассматриваемого биома в целом. В качестве минимальных выделов рассматривались ландшафтные экосистемы в составе отдельных регионов. Среди экосистем мы выделяли зональные (полярные пустыни, арктические, типичные и южные тундры, лесотундра), горные (пустыни и тундры), а в пределах их – гидроморфные интразональные экосистемы (болота и речные поймы). Общее количество элементарных выделов составило 80.

Точки с известными значениями запасов органического вещества почвы были сопоставлены с элементарными выделами карты согласно их географическим координатам и ландшафтными описаниями. Затем были рассчитаны средние величины по всем значениям, относящимся к одному элементарному выделу. Стандартную ошибку средних величин для элементарных выделов оценивали как отношение среднего квадратичного

отклонения к корню квадратному из числа значений, сопоставленных с данным выделом.

На многие из элементарных выделов приходилось либо слишком мало исходных значений (1–2), либо они вообще отсутствовали. В этом случае для расчетов средних значений проводилось агрегирование выделов по регионам, изредка по подзонам. Например, такие средние значения были получены для типичных тундр Восточно-Европейской провинции и Полярного Урала или для речных пойм типичной и южной тундр в пределах всей России.

Абсолютное значение запаса органического вещества в элементарном выделе рассчитывали как произведение соответствующего среднего значения на площадь выдела. Далее путем суммирования получали абсолютные значения почвенного углерода для отдельных регионов и зоны в целом. Региональные и зональные средние величины оценивали путем деления абсолютных запасов на соответствующую площадь. Стандартные ошибки для абсолютных и средних региональных значений рассчитывали аналогично.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены средние и абсолютные значения запасов органического углерода в почвах различных ландшафтов для регионов тундровой зоны России, включая лесотундру. Географическое распределение средних запасов органического углерода в почвах тундровой зоны России подчиняется определенным широтно-меридиональным закономерностям. На Кольском полуострове наибольшие средние значения свойственны болотам и речным поймам горной тундры и болотам лесотундры, в Восточно-Европейской провинции и на Полярном Урале – в болотах лесотундры и лесотундре, в Сибири – в болотах арктической и типичной тундры, на Чукотке – в лесотундре, где значительно представлены низкорослые заросли кедрового стланика. Зональность распределения запасов органического вещества и углерода почв (возрастание их от полярных пустынь к южной тундре за исключением болотных территорий) отмечается и другими авторами (Игнатенко, 1964; Игнатенко и др., 1973; Базилевич, 1993).

Связанные с зональностью особенности распределения средних запасов существенно сказываются на значениях абсолютных запасов, в результате чего ранжирование элементарных выделов по абсолютным запасам существенно отличается от площадного представительства тех же выделов (табл. 1). Так, по абсолютным запасам лидерами являются лесотундры Восточно-Европейской провинции (1982 Гт) и Центральной Сибири (1907 Гт), по площадям же доминируют арктические тундры

Таблица 1. Средние и общие запасы углерода в органическом веществе почвы для ландшафтов тундровой зоны России

Название	Зональные и горные ландшафты				Интразональные в пределах зональных и горных речные поймы					
	площадь, 10 ⁶ га		запас углерода		площадь, 10 ⁶ га		запас углерода			
	средний, т С га ⁻¹	общий, 10 ⁶ т С	средний, т С га ⁻¹	общий, 10 ⁶ т С	средний, т С га ⁻¹	общий, 10 ⁶ т С	средний, т С га ⁻¹	общий, 10 ⁶ т С		
Кольский п-ов										
Горные пустыни	0.05	23.4 ± 2.5	1 ± 0	Отсутствуют	0.26	204.0 ± 46.4	53 ± 12	Отсутствуют	128.7 ± 55.4	13 ± 6
Горная тундра	0.45	53.3 ± 18.4	24 ± 8	Отсутствуют	0.32	321.1 ± 139.2	102 ± 44	Отсутствуют	»	»
Южная тундра	1.90	99.9 ± 29.1	190 ± 55	Отсутствуют	0.58	268.7 ± 97.7	155 ± 56	Отсутствуют	»	»
Лесотундра	3.12	108.1 ± 36.4	337 ± 113	Восточно-Европейская провинция	0.10	128.7 ± 55.4	13 ± 6	Отсутствуют	»	»
Всего	5.51	100.1 ± 32.1	552 ± 177	114 ± 31	0.10	128.7 ± 55.4	13 ± 6	Отсутствуют	»	»
Арктическая тундра	1.67	68.5 ± 18.5	114 ± 31	Отсутствуют	0.12	179.1 ± 59.8	21 ± 7	Отсутствуют	»	»
Типичная тундра	4.55	79.2 ± 25.0	361 ± 114	155.1 ± 38.3	0.64	179.1 ± 59.8	115 ± 38	Отсутствуют	»	»
Южная тундра	11.92	141.4 ± 60.0	1686 ± 715	321.1 ± 139.2	0.13	192.0 ± 60.7	25 ± 8	Отсутствуют	»	»
Лесотундра	6.38	310.8 ± 126.3	1982 ± 805	321.1 ± 139.2	0.89	181.0 ± 59.9	161 ± 53	Отсутствуют	»	»
Всего	24.53	168.9 ± 67.9	4143 ± 1666	283.2 ± 116.2	0.89	181.0 ± 59.9	161 ± 53	Отсутствуют	»	»
Полярный Урал										
Горные полярные пустыни	0.68	23.4 ± 2.5	16 ± 2	Отсутствуют	0.02	128.7 ± 55.4	3 ± 1	Отсутствуют	»	»
Горная тундра	1.82	105.5 ± 23.6	192 ± 43	»	0.00	179.1 ± 59.8	1 ± 0	Отсутствуют	»	»
Типичная тундра	0.02	79.2 ± 25.0	2 ± 1	»	0.09	179.1 ± 59.8	16 ± 5	Отсутствуют	»	»
Южная тундра	1.02	141.4 ± 60.0	144 ± 61	»	0.11	170.3 ± 59.0	19 ± 7	Отсутствуют	»	»
Лесотундра	0.09	191.1 ± 69.7	17 ± 6	»	0.11	170.3 ± 59.0	19 ± 7	Отсутствуют	»	»
Всего	3.63	102.2 ± 31.0	371 ± 113	»	0.11	170.3 ± 59.0	19 ± 7	Отсутствуют	»	»
Острова Баренцева и Карского морей										
Ледники	6.06	0	0	Отсутствуют	0.83	212.8 ± 50.4	145 ± 34	Отсутствуют	»	»
Полярные пустыни	4.18	23.4 ± 2.5	98 ± 10	»	1.60	155.1 ± 38.3	85 ± 21	Отсутствуют	»	»
Арктическая тундра	2.30	57.6 ± 3.4	132 ± 8	»	2.41	151.7 ± 47.1	108 ± 33	Отсутствуют	»	»
Всего	12.54	18.4 ± 1.5	230 ± 18	»	4.84	151.7 ± 47.1	24 ± 8	Отсутствуют	»	»
Западная Сибирь										
Арктическая тундра	6.50	57.6 ± 3.4	374 ± 22	212.8 ± 50.4	0.83	100.7 ± 30.4	84 ± 25	Отсутствуют	»	»
Типичная тундра	10.95	79.5 ± 9.2	871 ± 101	155.1 ± 38.3	1.60	179.1 ± 59.8	287 ± 96	Отсутствуют	»	»
Южная тундра	11.10	83.3 ± 20.3	924 ± 226	151.7 ± 47.1	2.41	179.1 ± 59.8	432 ± 144	Отсутствуют	»	»
Лесотундра	3.52	66.7 ± 11.5	235 ± 41	151.7 ± 47.1	4.84	165.7 ± 54.8	802 ± 265	Отсутствуют	»	»
Всего	32.07	75.0 ± 12.1	2404 ± 389	172.4 ± 45.9	4.84	165.7 ± 54.8	802 ± 265	Отсутствуют	»	»

Таблица 1. (Окончание)

Название	Зональные и горные ландшафты				Интразональные в пределах зональных и горных болота				речные поймы	
	площадь, 10 ⁶ га	запас углерода		площадь, 10 ⁶ га	запас углерода		площадь, 10 ⁶ га	запас углерода		
		средний, т С га ⁻¹	общий, 10 ⁶ т С		средний, т С га ⁻¹	общий, 10 ⁶ т С		средний, т С га ⁻¹	общий, 10 ⁶ т С	
Полярные пустыни	2.75	23.4 ± 2.5	64 ± 7	Средняя Сибирь				Отсутствует		
Горные полярные пустыни	2.77	23.4 ± 2.5	65 ± 7	»				»		
Горная тундра	13.54	86.3 ± 9.4	1169 ± 127	»				0.29	128.7 ± 55.4	37 ± 16
Арктическая тундра	23.05	57.6 ± 3.4	1327 ± 78	»				1.98	100.7 ± 30.4	199 ± 60
Типичная тундра	17.03	85.9 ± 22.0	1463 ± 375	0.17	155.1 ± 38.3	26 ± 6	2.41	179.1 ± 59.8	431 ± 144	
Южная тундра	10.80	121.2 ± 43.2	1309 ± 466	0.03	147.8 ± 54.0	4 ± 2	1.24	179.1 ± 59.8	222 ± 74	
Лесотундра	13.12	145.4 ± 65.5	1907 ± 859	0.11	147.8 ± 54.0	16 ± 6	1.86	192.0 ± 60.7	357 ± 113	
Всего	83.06	87.9 ± 23.1	7304 ± 1919	0.31	152.0 ± 45.4	46 ± 14	7.78	160.4 ± 52.4	1247 ± 407	
Горная тундра	9.10	79.4 ± 14.5	723 ± 132	Якутская провинция				Отсутствует		
Арктическая тундра	10.11	91.5 ± 8.6	925 ± 87	0.06	212.8 ± 50.4	12 ± 3	0.56	128.7 ± 55.4	72 ± 31	
Типичная тундра	12.39	104.4 ± 29.8	1293 ± 370	Отсутствует				3.45	100.7 ± 30.4	347 ± 105
Южная тундра	1.31	121.2 ± 43.2	159 ± 57	»				2.93	179.1 ± 59.8	525 ± 175
Лесотундра	7.56	145.4 ± 65.5	1099 ± 495	»				0.10	179.1 ± 59.8	18 ± 6
Всего	40.48	103.7 ± 28.2	4199 ± 1140	0.06	212.8 ± 50.4	12 ± 3	7.04	136.7 ± 45.1	962 ± 317	
Ледники	0.01	0.0	0	Острова морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского				Отсутствует		
Полярные пустыни	0.81	23.4 ± 2.5	19 ± 2	»				»		
Горная тундра	0.48	79.4 ± 14.5	38 ± 7	»				»		
Арктическая тундра	3.20	87.7 ± 14.0	281 ± 45	»				»		
Всего	4.50	75.1 ± 12.0	338 ± 54	»				»		
Горные полярные пустыни	3.10	23.4 ± 2.5	73 ± 8	Чукотско-Анадырская провинция				Отсутствует		
Горная тундра	11.87	85.0 ± 35.1	1009 ± 417	»				0.22	128.7 ± 55.4	28 ± 12
Арктическая тундра	1.11	91.5 ± 8.6	102 ± 10	»				0.04	100.7 ± 30.4	4 ± 1
Типичная тундра	0.77	104.4 ± 29.8	80 ± 23	»				0.12	179.1 ± 59.8	22 ± 7
Дальневосточная типичная тундра	20.42	85.0 ± 35.1	1736 ± 717	»				2.21	179.1 ± 59.8	396 ± 132
Лесотундра	6.00	190.9 ± 68.1	1145 ± 409	»				0.94	152.4 ± 68.1	143 ± 64
Всего	43.27	95.8 ± 36.6	4145 ± 1582	»				3.53	168.0 ± 61.4	593 ± 217

Таблица 2. Средние и общие запасы углерода в органическом веществе почвы для тундровой зоны России в целом и ее регионов

Регион	Площадь		Запас углерода		
	10 ⁶ га	%	средний, т С га ⁻¹	общий	
				10 ⁶ т С	%
Кольский п-ов	6.19	2.2	116.2 ± 38.6	720 ± 239	2.5
Восточно-Европейская провинция	27.39	9.8	177.5 ± 71.1	4863 ± 1948	17.0
Полярный Урал	3.74	1.3	104.2 ± 31.9	390 ± 119	1.4
Острова Баренцева и Карского морей	12.54	4.5	18.4 ± 1.5	230 ± 18	0.8
Западная Сибирь	39.01	14.0	91.5 ± 19.2	3568 ± 751	12.5
Центральная Сибирь	91.15	32.7	94.3 ± 25.7	8598 ± 2341	30.0
Якутская провинция	47.57	17.1	108.7 ± 30.7	5173 ± 1460	18.1
Острова морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского	4.50	1.6	75.1 ± 12.0	338 ± 54	1.2
Чукотско-Анадырская провинция	46.80	16.8	101.2 ± 38.4	4738 ± 1799	16.6
Россия в целом	278.89	100	102.6 ± 31.3	28619 ± 8729	100

Центральной Сибири (23.05 млн. га) и дальневосточные типичные тундры (20.42 млн. га).

Суммарная оценка запасов углерода в почве тундровых и лесотундровых экосистем России составила 28.6 Гт С для площади 279 млн. га (табл. 2). На европейскую часть России приходится около 21% общих запасов почвенного углерода, причем большая часть из них сосредоточена в Восточно-Европейской тундре (17%); на Кольский полуостров и Полярный Урал приходится лишь 4%.

Максимальные запасы углерода сосредоточены в более крупных по площадям регионах – Средней Сибири (8.6 Гт С) и Чукотско-Анадырской провинции (4.7 Гт С), минимальные – на Кольском полуострове (0.7 Гт С) и Полярном Урале (0.4 Гт С).

Средний запас углерода для российских тундр, по нашим оценкам, составил 103 т С га⁻¹ при варьировании от 23 т С га⁻¹ в полярной пустыне до 321 т С га⁻¹ в болотах лесотундры. В сводке К.И. Кобак (1988) размах варьирования средних величин составляет для тундр 50–200 т С га⁻¹, для арктических ерников (зарослей берез кустарниковых) – 27–232 т С га⁻¹. Для территории Аляски средние запасы почвенного углерода варьируют по различным типам почв в пределах 324–142 т С га⁻¹ (Alexander et al., 1989; цит. по Eswaran et al., 1993). Следовательно, полученные нами величины находятся в пределах варьирования литературных оценок.

Перед сравнением независимых суммарных региональных и зональных величин необходимо отметить, что различия между ними объясняются, с одной стороны, варьированием средних величин, использованных в качестве исходных, с другой, разными оценками площадей. Как уже

отмечалось, мы оцениваем площади на основе ландшафтной карты, в то время как другие исследователи используют для этого почвенные карты (Рожков и др., 1997), справочные материалы по природно-сельскохозяйственному районированию (Бирюкова, Орлов, 1993; Орлов и др., 1996) или иные типы ландшафтных карт (Kolchugina, Vinson, 1993). В качестве единицы территориального деления часто принимаются типы почв (Бирюкова, Орлов, 1993; Орлов и др., 1996; Рожков и др., 1997). Для корректного сравнения мы суммировали авторские данные по типам почв, относящихся к зональному распространению тундр и лесотундр.

Оценки площадей полярно-тундровой зоны (без лесотундр) оказываются достаточно близкими во всех работах (табл. 3), варьируя от 1.81 (Орлов и др., 1996) до 2.35 (настоящая работа) млн. км². Во многих из обсуждаемых работ (Орлов и др., 1996; Kolchugina, Vinson, 1993) лесотундры рассматриваются вместе с зоной северной тайги, поэтому суммарная площадь этих двух зон существенно выше нашей оценки для лесотундры. Независимая оценка площади собственно лесотундр (“Углерод в экосистемах..”, 1994) близка к нашей.

Оценки средних запасов углерода в полярно-тундровой зоне образуют две группы: 1) в пределах 80–106 т С га⁻¹ (настоящая работа; Бирюкова, Орлов, 1993; Орлов и др., 1996) и 2) с вдвое большими значениями – 186–204 т С га⁻¹ (Рожков и др., 1997; Kolchugina, Vinson, 1993). Причины столь больших расхождений не совсем ясны, однако можно предположить, что они связаны с недооценкой широтной зональности распределения средних запасов почвенного углерода. Например, в работе В.А. Рожкова с соавт. (1997) средний запас углерода в равнинных арктических почвах со-

Таблица 3. Оценки средних и суммарных запасов углерода в органическом веществе почвы тундр и лесотундр России и Мира

Регион	Зона или типы почв	Площадь, 10 ⁶ км ²	Запас углерода		Источник
			Гт С	т С, га ⁻¹	
Европейская часть России	Полярно-тундровая зона без болот и пойм	0.37	3.0	80.8	Настоящая работа
»	Зональные тундровые почвы	0.41	3.4	84.1	Бирюкова, Орлов, 1993
Россия	Полярно-тундровая зона и лесотундра	2.79	28.6	102.6	Настоящая работа
»	Полярно-тундровая зона	2.35	21.1	89.7	Настоящая работа
»	»	1.81	19.2	106.4	Орлов и др., 1996
»	Тундра	2.14	43.7	204.0	Kolchugina, Vinson, 1993
»	Арктические, тундровые и горно-тундровые почвы	2.16	40.2	185.9	Рожков и др., 1997
»	Лесотундра	0.44	7.5	172.0	Настоящая работа
»	»	0.42	4.8	114.3	“Углерод в экосистемах...”, 1994
»	»	2.88	49.5	172.2	Kolchugina, Vinson, 1993
»	Лесотундрово-северотаежная зона	2.34	39.4	168.5	Орлов и др., 1996
Биом в целом	Тундра и альпийские экосистемы	8	163	204.0	Schlesinger, 1977
»	»	9.5	121	127.4	Ajtay et al., 1979

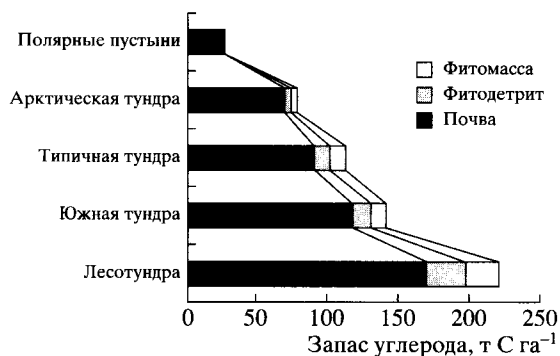
ставляет всего 50 т С га⁻¹ и на них приходится только 11% общей площади тундровой зоны. По нашим оценкам, на площадь полярных пустынь и арктических тундр приходится около 30% при среднем запасе 69 т С га⁻¹. В работе Т.П. Кольчугиной и Т. Винсона (Kolchugina, Vinson, 1993) для всех зональных тундр использована единая средняя оценка 200 т С га⁻¹. Для лесотундр и северной тайги оценки среднего запаса углерода у разных авторов оказываются очень близкими, составляя 169–172 т С га⁻¹ (см. табл. 3), за исключением единственной заниженной величины 114 т С га⁻¹ “Углерод в экосистемах...”, 1994).

Отмеченные отличия в средних запасах приводят к расхождениям в абсолютных запасах углерода в полярно-тундровой зоне России, которые составляют от 19.2 до 21.1 Гт С (Орлов и др., 1996; настоящая работа) или от 40.2 до 43.7 Гт С (Рожков и др., 1997; Kolchugina, Vinson, 1993). Наличие таких значимых расхождений дает основание считать, что для полярно-тундровой зоны России обсуждаемый вопрос еще нельзя считать полностью закрытым.

Следует отметить, что целью обсуждаемых выше работ была оценка запасов углерода в почвах России в целом, потому и степень территориального деления тундр и лесотундр невелика. В нашей работе цель сформулирована уже, оценка относится только к тундрам и лесотундрам, поэтому как внутризональное, так и региональное распределение запасов почвенного углерода рассмотрено намного подробнее.

Обобщенные оценки средних запасов углерода в мировом тундровом биоме также сильно различаются, составляя 127 (Ajtay et al., 1979) и 204 т С га⁻¹ (Schlesinger, 1977). Первая из них вполне сопоставима с полученной нами величиной (103 т С га⁻¹), особенно с учетом крайне северного положения наиболее крупных регионов российской тундры – Западной и Средней Сибири. Приняв за общую оценку запасов углерода в почвах тундрового биоме мира 121 Гт С (Ajtay et al., 1979), получим, что на долю российских тундр и лесотундры приходится 24% от этого количества.

Запасы углерода в фитомассе тундр и лесотундр России (без дальневосточных стлаников) составляют 2.6 Гт С (Карелин и др., 1995). По данным Н.И. Базилевич (1993), соотношение массы растительных остатков (фитодетрита) и фитомассы живых растений составляет в зональных типах тундр 1.2–1.3, в горных и гидроморфных ландшафтах – 1.8. Исходя из этого запас углерода в фитодетрите тундр можно оценить в 3.5 Гт С, а общий запас органического углерода в экосистемах тундр и лесотундр России составит 34.7 Гт С, причем доля углерода в органическом веществе почвы равна 82%. Отметим, что средние запасы как углерода почв, так и углерода фитомассы и фитодетрита закономерно уменьшаются от лесотундр к полярным пустыням (см. рисунок). Однако доля почвенного углерода от общего запаса углерода в экосистеме при этом возрастает, составляя 75% в лесотундрах, 82% – в южных, 81% – в типичных, 93% – в арктических тундрах и 94% – в полярных пустынях.



Средние запасы углерода в почве, фитодетрите и фитомассе для зональных ландшафтов тундровой зоны России.

Приведенные в настоящей работе результаты являются одним из этапов уточнения этих величин как в региональном, так и глобальном аспектах и могут быть использованы в качестве эмпирической основы при построении математических моделей регионального и глобального уровня, в том числе для прогноза влияния климатических изменений на биосферу.

Работа выполнена при поддержке проекта 4.3.3 "Биогенные углеродные потоки в тундрах и лесотундрах России" ФЦНТПР № 18 "Глобальные изменения природной среды и климата" Миннауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 295 с.
- Бирюкова О.Н., Орлов Д.С. Запасы органического вещества и типы гумуса в почвах Севера европейской части России // Почвоведение, 1993. № 10. С. 39–51.
- Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Зукерт Н.В. Геоинформационная модель бюджета углерода тундровой зоны России // Изв. Академии наук. Сер. биол. 1999 (в печати).
- Игнатенко И.В. Об особенностях почвообразования в различных подзонах восточно-европейских тундр // Проблемы Севера (природа). Вып. 8. М.–Л.: Наука, 1964. С. 200–212.
- Игнатенко И.В., Норин Б.Н., Рахманина А. Т. Круговорот зольных элементов и азота в некоторых биогеоценозах восточно-европейской лесотундры // Почвы и растительность мерзлотных районов СССР. Магадан: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 335–350.
- Исаченко А.Г., Шляпникова А.А., Робозерова О.Д., Филипенко А.З. Ландшафтная карта СССР. М. 1 : 4000000. М.: ГУГК, 1988.
- Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г., Гильманов Т.Г. Запасы и продукция углерода в фитомассе тундровых и лесотундровых экосистем России // Лесоведение. 1995. № 5. С. 29–36.
- Кобак К.И. Биотические компоненты биотического цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
- Рожков В.А., Вагнер В.В., Козут Б.М., Конюшков Д.Е., Шеремет Б.В. Запасы органических и минеральных форм углерода в почвах России // Углерод в биоценозах / Докл. на XV ежегодных чтениях памяти академика В.Н. Сукачева. М., 1997. С. 5–58.
- Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В.А. Алексеева и Р.А. Бердси. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, Северо-Восточная лесн. эксперимент. станция Лесной службы США, 1994. 232 с.
- Ajtay J.L., Ketner P., DuVigneaud P. Terrestrial primary production and phytomass // The Global Carbon Cycle. Scope 13 / Eds B. Bolin, E.T. Degens, S. Kenpe, P. Ketner. N.Y.: John Wiley and Sons, 1979. P. 129–181.
- Billings W.D., Luken J.O., Mortensen D.A., Peterson K.M. Arctic tundra: a source or sink for atmospheric carbon dioxide in a changing environment? // Oecologia. 1982. V. 53. № 1. P. 7–11.
- Eswaran H., Van Den Berg E., Reich P. Organic carbon in soils of the World // Soil Sci. Soc. Am. J. 1993. V. 67. P. 192–194.
- Kolchugina T.P., Vinson T.S. Carbon balance of the continuous permafrost zone of Russia // Clim. Res. 1993. V. 3. P. 13–21.
- Schlesinger W.N. Carbon balance in terrestrial detritus // Ann. Rev. Ecol. Syst. 1977. V. 8. P. 51–81.