

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ

Результаты исследований содержания углерода в гидроморфных почвах дельты Волги показали процентное соотношение органического (до 96%) и неорганического (до 8%) углерода. Показано участие микроорганизмов в биосферных функциях почв. Доля углерода микробной биомассы в запасах углерода всего содержащегося в почве органического материала составляет от 10,1 до 31,2%.

Одной из приоритетных проблем современного фундаментального почвоведения является определение роли почв в круговороте и балансе важнейших биофильных элементов не только в конкретных ландшафтах, но и в масштабе всей планеты. Особенно важна такая оценка для биогеохимически связанных элементов – таких, как углерод, циклические превращения которого в биосфере включают этапы с образованием газообразных соединений, многие из которых ответственны за парниковый эффект [1].

Запас углерода во всех наземных экосистемах зависит от соотношения между связыванием диоксида углерода и его потерями в процессе дыхания биоты. Основные составляющие углеродного баланса характеризуются высокой суточной, сезонной и годовой вариабельностью. Баланс углерода состоит из приходной части, поступающей с чистой первичной продукцией, и расходной, состоящей из разложения растительного вещества и потока углерода, который удаляется с почвенно-грунтовыми водами.

По многочисленным данным [2, 3], важнейшим стоком углекислоты на территории России служит лес, а также луговые экосистемы, и размеры годичного депонирования углерода в растительности оцениваются от 240×10^{12} до 197×10^{12} гС/год [4].

По скорости разложения и времени полного оборота углерод почвы подразделяется на три пула: активный (менее 2,7 лет), медленный (более 9-10 лет), пассивный (более 1000 лет), – между которыми происходит обмен соединениями, имеющими промежуточные значения этих параметров. Эволюционно-генетические признаки и базовые функции почвы связаны с запасами и свойствами органического вещества медленного и пассивного пулов, а краткосрочные круговороты углерода, поддерживающие микробную активность, питательный режим и сток биогенных газов, осуществляются в пределах

активного пула, в котором сосредоточено до 20-30% валового органического углерода [5].

Углерод, входящий в состав органического вещества, находится в специфических соединениях – гуминовых кислотах, фульвокислотах, гиматомелановых кислотах, гумине, лигнине, спиртах, альдегидах. Гумусовые вещества обладают высокой обменной поглотительной способностью. Это уникальное экологическое свойство почвы: биофильные элементы одновременно и удерживаются коллоидами от вымывания за пределами почвы, и в то же время легкодоступны корневым системам растений [6]. Минеральные соединения углерода представлены карбонатами, основная часть которых приходится на относительно труднорастворимые карбонаты кальция и магния.

Дельта Волги характеризуется высокими показателями биоразнообразия и продуктивности, ее биогеоценозы играют важнейшую роль в функционировании экосистемы Прикаспия. Водно-болотные угодья дельты Волги считаются наиболее сохранившимися в Европе, а гидроморфные почвы дельты принимают участие в круговороте биогенных элементов, накапливая определенное количество углеродных соединений. Островные гидроморфные почвы представлены различными типами аллювиальных почв, основную роль в формировании которых играет гидрологический режим Волги.

Аллювиальные равнины занимают особое место в формировании почвенного покрова мира и производят значительный объем продукции органического вещества [7]. Недостаточно уделено внимания вопросам изучения роли микроорганизмов в процессах аккумуляции органического углерода.

Целью настоящей работы явилось изучение функционирования гидроморфных почв дельты Волги на основе определения запасов органического и неорганического углерода, а также углерода микробной биомассы.

Объекты и методы исследования

На территории памятника природы «Нерестовый массив Диановский» (восточная часть дельты Волги) в 2005 г. были заложены почвенно-экологический профиль протяженностью 498 м и 7 стационарных участков, где изучались аллювиальные болотные перегнойно-глеевые, аллювиальные темногумусовые гидрометаморфические, аллювиальные дерново-опустынивающиеся карбонатные почвы. Аллювиальные болотные перегнойно-глеевые почвы приурочены к наиболее пониженным элементам рельефа и формируются в условиях длительного избыточного поверхностно-грунтового увлажнения, аллювиальные темногумусовые гидрометаморфические почвы подвержены регулярно-сезонному затоплению паводковыми водами с чередованием промывного и выпотного типов водного режима [8], аллювиальные дерново-опустынивающиеся карбонатные почвы распространены на небольших площадях в шлейфовой зоне бугров Бэра и формируются на переслаивающихся суглинистых и супесчаных делювиально-аллювиальных отложениях и практически не подвержены затоплению [9].

Отбор почвенных образцов проводили в весенний (апрель) и осенний (октябрь) периоды года, согласно стандартным методикам с верхнего гумусового горизонта (0–15 см) [10]. Проводилось определение флористического состава фитоценозов и ионного состава водной вытяжки почвенных образцов по ГОСТУ 26423-85; 26428-85.

Определение содержания углерода в почвенных образцах проводили с помощью экспресс – анализатора АН 7529. Навеску почвы (0,5 г), помещенную в фарфоровую лодочку, сжигают в трубчатой печи при температуре 900–1000 °С в потоке очищенного от примесей кислорода. Углекислый газ, образовавшийся при сгорании углерода, уносится потоком кислорода в электролитическую ячейку и поглощается в ней поглотительным раствором. Электролитическая ячейка имеет два отсека: катодный и анодный, которые соединены с помощью токопроводящей гидратцеллюлозной пленки. Закисление раствора приводит к изменению ЭДС электронной системы и соответствующему изменению выходного напряжения рН-метра, которое преобразуется в импульсы тока, вызывая восстановление ионов водорода на катоде и нейтрализацию кислоты, образующейся при погло-

щении CO_2 . Количество электричества, требующееся при нейтрализации, фиксируется пересчетным индикаторным устройством, отградуированным в % массовой доли углерода. Для определения углерода карбонатов к навеске почвы (0,5 г) приливали 5 мл 20% раствора HClO_4 . Образующийся углекислый газ при разложении карбонатов уносится потоком кислорода в электролитическую ячейку и определяется методом кулонометрического титрования [11].

Латинские названия растений приведены в соответствии со сводкой С.К. Черепанова [12] и с корректировкой по Н.Н. Цвелеву [13].

Результаты и обсуждение

Ключевые точки стационарных участков, соответствующие типам аллювиальных почв, имели следующие обозначения: R2 и R8 – аллювиальная дерново-опустынивающаяся карбонатная, R3, R4 и R6 – аллювиальная темногумусовая гидрометаморфическая, R5 и R7 – аллювиальная болотная перегнойно-глеевая. В таблице 1 представлены результаты сезонной вариабельности анионного и катионного состава водных вытяжек почвенных суспензий исследованных типов почв.

Аллювиальная дерново-опустынивающаяся карбонатная почва с сульфатно-содовым типом засоления [14] имеет количественное значение анионов: SO_4 от 1,25 до 1,50 в весенний период года и от 2,00 до 9,00 в осенний; HCO_3 от 0,55 до 0,85 в весенний и от 0,10 до 0,90 в осенний. Флористический комплекс представлен следующими видами: *Suaeda crassa*, *Cynodon dactylon*, *Petrosimonia brachiata*, *P. oppositifolia*, *Alhagi pseudalhagi*, *Ceratocephala falcata*, *Descurainia sophia*, *Eremopyrum orientale*, *E. triticeum*, *Camphorosma monspeliaca*, *Camelina microcarpa*, *Acroptilon repens*, *Artemisia lerchiana*, *Agropyron desertorum*, *Agropyron fragile*, *Medicago caerulea*, *Convolvulus arvensis*. В зависимости от режима увлажнения в этой переходной (буферной) зоне, от боровского бугра к луговым биотопам, отмечается мозаичность растительных группировок с доминированием пустынных фитоценозов, луговых и средиземноморского типа растительности.

В аллювиальной темногумусовой гидрометаморфической почве в зависимости от ключевых участков тип засоления варьирует от сульфатного в весенний период года (количество анионов SO_4 от 1,25 до 8,00) до хлоридно-суль-

Таблица 1. Ионный состав водных вытяжек суспензий аллювиальных почв (мг-эквивалент на 100 г)

Точка отбора	Анионы						Катионы					
	Хлориды		Сульфаты		Карбонаты		Кальций		Магний		Натрий	
	В*	О**	В	О	В	О	В	О	В	О	В	О
R2	0,25	1,40	1,25	2,00	0,85	1,90	0,75	1,25	0,50	0,50	1,10	3,55
R3	0,15	0,55	1,25	2,25	0,85	1,10	1,25	1,75	0,50	0,75	0,50	1,40
R4	0,15	7,20	4,75	16,50	0,60	0,70	2,75	13,25	1,50	2,00	1,25	9,15
R5	0,15	0,80	2,25	3,50	0,55	1,10	1,25	2,50	1,00	1,50	0,70	1,40
R6	0,70	4,60	8,00	16,50	0,30	0,80	3,75	13,50	2,00	3,25	3,25	5,15
R7	0,20	0,75	1,75	3,75	0,60	1,20	1,50	2,50	0,75	1,50	0,30	1,70
R8	0,35	3,50	1,50	9,00	0,55	1,10	1,00	6,50	0,50	2,25	0,90	4,85

* В – весна, **О – осень

Таблица 2. Сезонная динамика содержания запасов углерода в гидроморфных почвах дельты Волги

Ключевые участки профиля	С _{общ} мг/г		С _{карб} мг/г		С _{орг} мг/г		С _{эукариот} мг/г		С _{прокариот} мг/г		С _{мб} мг/г		С _{мб} / С _{орг} %	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
R2	13,9	45,0	2,7	0,6	11,2	44,4	3,5	5,1	0,01	0,008	3,51	5,108	31,2	11,5
R3	25,3	29,2	1,1	2,0	24,2	27,2	3,6	3,5	0,012	0,012	3,612	3,512	14,9	12,9
R4	30,4	38,7	1,8	3,2	28,6	35,5	3,6	4,3	0,015	0,017	3,615	4,317	12,6	12,1
R5	25,7	33,9	2,7	6,5	23,0	27,4	3,9	3,2	0,017	0,018	3,917	3,218	17,0	11,8
R6	32,8	37,9	1,1	0,9	31,7	37,0	4,8	5,3	0,008	0,011	4,808	5,311	15,1	14,3
R7	41,2	35,7	0,9	2,0	40,3	33,7	4,1	3,4	0,023	0,014	4,123	3,414	10,2	10,1
R8	21,0	28,5	0,4	0,9	20,6	27,6	3,2	3,0	0,005	0,005	3,205	3,005	15,5	10,9

фатного в осенний период года (количество анионов SO_4^- от 2,25 до 16,50, Cl^- от 0,55 до 7,20). Распространены пырейно-ситняговые и камышево-разнотравные фитоценозы. Флористический комплекс представлен: *Agropyron desertorum*, *Agropyron fragile*, *Eleocharis acicularis*, *E. palustris*, *Mentha arvensis*, *Rubia tatarica*, *Euphorbia borodinii*, *Phalaroides arundinacea*, *Glycyrrhiza echinata*, *Althaea officinalis*, *Potentilla reptans*, *Bolboschoenus maritimus*, *Scirpus lacustris*, *Persicaria amphibia*, *Xanthium strumarium*.

Аллювиальная болотная перегнойно-глеявая почва с сульфатным типом засоления (количество анионов SO_4^- от 1,75 до 2,25 в весенний период и в пределах 3,60 в осенний) представлена водно-болотной растительностью со следующим флористическим комплексом: *Bolboschoenus maritimus*, *Scirpus lacustris*, *Persicaria amphibia*, *Butomus umbellatus*, *Inula britannica*, *Convolvulus arvensis*, *Mentha arvensis*, *Xanthium strumarium*, *Carex melanostachya*, *C. vesicaria*.

В исследуемых типах гидроморфных почв среди обменных катионов отмечено преобладание кальция (от 0,75 до 13,50 мг-экв/100 г) и натрия (от 0,30 до 9,15 мг-экв/100 г) как в весенний,

так и в осенний периоды года, что говорит об устойчивости и некотором постоянстве химического состава аллювиальных почв дельты Волги (табл. 1). В почвах хлоридно-сульфатного типа засоления кроме NaCl встречаются MgCl_2 и CaCl_2 (отношение Cl к Na более 1). В отношении катионов наблюдается сезонная приуроченность (осенний период) их количественного содержания во всех типах аллювиальных почв, что прежде всего связано с выносом солей из нижележащих горизонтов и близкорасположенных грунтовых вод. Также объяснением повышенного содержания легкорастворимых солей в осенних почвенных образцах может служить низкий уровень весеннего половодья 2006 года.

Анализ содержания общего углерода в гидроморфных почвах дельты Волги показал осеннее доминирование значений $\text{C}_{\text{общ}}$, и сезонная разница в количестве углерода составила 7–8 мг/г (табл. 2). Максимальное значение $\text{C}_{\text{общ}}$ в осенний период года характерно для аллювиальной дерново-опустынивающейся карбонатной (36,6 мг/г), далее значения убывают для аллювиальной темногумусовой гидрометаморфической (35,2 мг/г) и аллювиальной болотной

перегнойно-глеевой (34,8 мг/г) почв. Совершенно иное распределение значений $C_{\text{общ}}$ наблюдается весной: максимум характерен для болотной перегнойно-глеевой (33,5 мг/г), а минимум – для дерново-опустынивающейся карбонатной (17,5 мг/г) почвы.

В изученных гидроморфных почвах основной запас углерода представлен его органической составной, и пределы значений колеблются от 11,2 до 44,4 мг/г. Количество органического углерода ($C_{\text{орг}}$) варьирует по сезонам года в зависимости от типа аллювиальной почвы, но в большинстве случаев максимум $C_{\text{орг}}$ наблюдается осенью. На долю неорганического углерода ($C_{\text{карб}}$) приходится 3–8% от количества общего углерода, самые низкие значения $C_{\text{карб}}$ зафиксированы для аллювиальной дерново-опустынивающейся карбонатной почвы (0,4–0,9 мг/г).

В литературе уделено недостаточно внимания вопросам содержания доли углерода микробной биомассы ($C_{\text{мб}}$) в общем содержании органического углерода, и по некоторым данным этот показатель может составлять от 5–17% в подстилке почв и до 50–70% в минеральных горизонтах [15]. Значения углерода микробной биомассы складываются из углерода эукариотических (микромитеты, дрожжи, водоросли) и углерода прокариотических (бактерии, актиномицеты) клеток. Основная масса углерода микробной биомассы приходится на долю $C_{\text{эукариотов}}$, значения которого в зависимости от типа почвы колеблются в пределах 3,0–5,3 мг/г. Доля $C_{\text{прокариотов}}$ составляет сотую часть от углерода микробной биомассы.

Полученные данные о структуре биомассы почвенных микроорганизмов гидроморфных почв показывают, что доля углерода микробной биомассы (в расчетах принимали, что углерод составляет 45% от общих запасов микробной биомассы) в запасах углерода всего содержащегося в почве органического материала составляет от 10,2 до 31,2% весной и от 10,1 до 14,3% осенью (табл. 2). Для всех изученных типов аллювиальных почв характерна сезонная динамика: содержание доли $C_{\text{мб}}$ в $C_{\text{орг}}$ превалирует в весенний период года. Разница в сезонной величине $C_{\text{мб}}/C_{\text{орг}}$ для аллювиальной болотной перегнойно-глеевой и темногумусовой гидроморфической почв составляет 1–3%, а для аллювиальной дерново-опустынивающейся карбонатной – 11–12%.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что запасы углерода в гидроморфных почвах дельты Волги определяются прежде всего содержанием органического углерода, составляющего до 96%. Несомненный вклад в этот показатель определяет луговая растительность, особенно в аллювиальной болотной перегнойно-глеевой почве. Показатели значений $C_{\text{орг}}$ в первую очередь зависят от типа почвы и сезона отбора проб, а во-вторых, от структуры биомассы микроорганизмов. Доля углерода микробной биомассы в запасах углерода всего содержащегося в почве органического материала составляет от 10,1 до 31,2%, что говорит о неоспоримой роли микроорганизмов в поддержании общего запаса органического углерода и участия в биосферных функциях почвенного покрова.

Список использованной литературы:

1. Умаров, М.М. Роль микроорганизмов почв в балансе азота в биосфере // Почвы – национальное достояние России: материалы 4 съезда докучаевского общества почвоведов. – Новосибирск: Наука-Центр, 2004. – Кн. 1. – С. 373.
2. Заварзин, Г.А. Круговорот углерода на территории России // Тез. докл. Национальной конференции с международным участием «Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии». – Пушкино, 2000. – С. 17–20.
3. Кудеяров, В.Н. Роль почв в круговороте углерода // Почвоведение, 2005. – №8. – С. 915–923.
4. Курганова, И.Н. Баланс углерода в почвах залежей Подмосковья / А.М. Ермолаев, В.О. Лопес де Гереню, А.А. Ларионова, Я. Кузяков, Т. Келлер, Ш. Ланге // Почвоведение, 2007. – №1. – С. 60–68.
5. Семенов, В.М. Активное органическое вещество почвы и его источники / Л.А. Иванникова, Т.В. Кузнецова, Н.А. Семенова // Почвы – национальное достояние России: материалы 4 съезда Докучаевского общества почвоведов. – Новосибирск: Наука-Центр, 2004. – Кн. 1. – С. 332.
6. Казеев, К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2003. – 204 с.
7. Ковда, В.А. Основы учения о почвах. – М.: Наука, 1973. Т. 1, 2. – 467 с.
8. Классификация и диагностика почв России / Шишов Л.Л., Тонгоногов В.Д., Лебедева И. И., Герасимова М.И. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
9. Классификация и диагностика почв СССР / Егоров В.В., Фридрих В.М., Иванова Е.Н., Розов Н. Н., Носин В. А., Фриев Т.А. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
10. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
11. Воробьева, Л.А. Химический анализ почв: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
12. Черепанов, С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
13. Цвелев, Н.Н. Определитель сосудистых растений северо-западной России / Н.Н. Цвелев. – СПб.: Изд-во СПХФА, 2000. – 781 с.
14. Засоленные почвы России / Отв. редакторы Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 854 с.
15. Полянская, Л.М. Прямой микроскопический подсчет спор и мицелия грибов в почве // Изучение грибов в биогеоценозах. Свердловск, 1988. – С. 30.