

УДК 574

ЭМИССИЯ C/CO₂ ПОЧВЕННЫМ ПОКРОВОМ В СУКЦЕССИОННОМ ПРОЦЕССЕ

© 2015 г. А. С. Керженцев, Н. Ф. Деева, Р. В. Трашеев

*Институт фундаментальных проблем биологии РАН
142290 Московская обл., Пущино, ул. Институтская, 2
e-mail: Kerzheni@ibbp.psn.ru*

Поступила в редакцию 14.02.2013 г.

На примере сукцессионного цикла лесного массива Касской равнины Западной Сибири показаны значительные колебания во времени эмиссии C/CO₂ на разных стадиях пирогенной сукцессии, представленных разными типами экосистем. Максимальные годовые эмиссии наблюдаются на первых стадиях сукцессии. К концу стадии климакса они постепенно снижаются на 25%. Достоверность многолетних эмиссий возрастет при учете колебаний ежегодных эмиссий за весь период сукцессии (220 лет) или среднегодовой эмиссии за этот период. Предложена идея динамической карты, меняющей содержание контуров в зависимости от изменения стадий развития экосистемы, климата и антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: лесная экосистема, пирогенная сукцессия, стадии и этапы, годовая и суммарная эмиссия C/CO₂, динамическое равновесие.

DOI: 10.7868/S0367059715010072

Жизненный цикл экосистемы состоит из последовательного чередования ряда стадий: зарождения, морфологического формирования, репродукции, старения и отмирания. Бесконечное повторение этого цикла обеспечивает экосистеме долговременное существование в конкретном диапазоне факторов среды. На случай чрезвычайных катастрофических ситуаций существует еще цикл экогенетических, или восстановительных, сукцессий. Он представляют собой чередование производных типов экосистем, не конкурирующих между собой по составу пищевых ресурсов, так как каждая имеет свои предпочтения. Сукцессионный цикл завершается восстановлением коренной растительной формации и зональной почвы (стадией климакса), которые должны функционировать в состоянии гомеостаза или динамического равновесия с факторами среды.

Уровень гомеостаза экосистемы измеряется величиной общей массы живого и мертвого органического вещества экосистемы, которая стабильно поддерживается циклическостью метаболизма экосистемы в конкретном диапазоне факторов среды. Каждая стадия восстановительной сукцессии представлена конкретным сочетанием почвенно-растительного покрова (типом экосистемы). Восстановительная сукцессия лесных экосистем длится 200–300 лет, продолжительность каждой стадии – 20–50 лет. За это время закономерно и последовательно изменяется не только тип растительности, но и тесно связанный с ним тип почвы.

Согласованное взаимодействие почвенного и растительного покрова в конкретном диапазоне

факторов среды определяет результативность функционирования экосистемы. В цикле метаболизма экосистемы фитоценоз поставляет педоценозу отмершую фитомассу в форме опада, а педоценоз, который использует отмершую биомассу в качестве пищи, выделяет в окружающую среду отходы жизнедеятельности почвенной биоты (газы, соли и коллоиды). В итоге фитоценоз без дополнительных энергетических затрат использует минеральные отходы педоценоза лиственной (газы) и корнями (растворы), превращая их в живую фитомассу, которая после отмирания снова поступает в распоряжение педоценоза.

Минеральные и органико-минеральные коллоиды не растворяются в воде и не используются фитоценозом, они формируют структуру почвенного профиля – ареал жизнедеятельности педоценоза. Часть выделенных педоценозом, но не усвоенных фитоценозом минеральных элементов переходит из биологического круговорота в геологический. Газовые эмиссии поддерживают стабильный состав атмосферного воздуха, почвенные растворы – химический состав подземных и поверхностных вод, минеральные коллоиды регулярно пополняют состав минералов литосферы (Личков, 1945).

ФУНКЦИЯ ЭКОСИСТЕМ И ЭМИССИЯ C/CO₂

В последние десятилетия научная общественность сильно обеспокоена проблемой потепления климата вследствие парникового эффекта, вызванного избыточным выделением в атмосфере-

ру парниковых газов. Особое внимание уделяется оценкам антропогенных источников и эмиссии С/СО₂ почвенным покровом Земли.

Получено большое количество данных по точному, сезонному, годовому и многолетнему режиму выделения С/СО₂ почвами разных климатических зон биосферы (Кудеяров, Курганова, 2005; Воронин, Блэк, 2005; Заварзин, Кудеяров, 2006; и др.). Составлено много вариантов глобального баланса С/СО₂ с указанием источников, стоков и резервуаров предшественников парниковых газов. На этом основании разработана глобальная система мер по уменьшению источников, увеличению стоков и сохранению резервуаров С/СО₂ для нормализации газового баланса атмосферы (Ben Bond-Lamberty, Allison Thomson, 2010; Jenkinson D.S. et al., 1991).

Несмотря на массовое увлечение проблемой влияния парниковых газов на изменение климата Земли, сам механизм фазовых превращений углерода в метаболизме биосферы до сих пор изучен слабо. Биосфера как экосистема глобального масштаба функционирует в автономном режиме благодаря взаимному обмену ее главных компонентов фитоценоза и педоценоза отходами жизнедеятельности. Степень разомкнутости цикла синтез – распад биомассы не превышает 1–10% общей массы экосистемы – экомассы (Марчук, Кондратьев, 1992; Горшков, 1995).

Все экосистемы и биосфера в целом функционируют в состоянии гомеостаза – динамического равновесия с факторами среды. Цикличность метаболизма биосферы поддерживает устойчивость ее структуры и стабильность состава атмосферы. Поэтому увеличение или уменьшение концентрации С/СО₂ в атмосфере является результатом нарушения метаболизма биосферы, изменения уровня ее гомеостаза за счет внутренних и внешних причин. Главным внешним фактором считается антропогенная эмиссия С/СО₂ промышленностью, транспортом, сельским хозяйством.

Эмиссия С/СО₂ природными экосистемами зависит от гидротермических условий их функционирования. Показано (Заварзин, Кудеяров, 2006), что эмиссия С/СО₂ больше зависит от условий увлажнения, чем от температуры. Выявлены закономерности суточной, сезонной и годовой динамики эмиссии С/СО₂ почвами различных регионов биосферы (Кудеяров, Курганова, 2005).

Для общей оценки суммарной эмиссии С/СО₂ почвенным покровом региона, страны, биосферы обычно используются почвенные карты соответствующего масштаба. Средняя величина годовой эмиссии каждого типа почв умножается на площадь контуров этого типа. Сумма полученных значений эмиссии всех типов почв территории представляет собой годовую эмиссию С/СО₂ почвенным покровом региона, страны, биосферы.

Для расчетов годового баланса этого вполне достаточно. Для расчета и прогноза многолетней динамики эмиссии С/СО₂ необходимо вносить коррективы на естественные флуктуации метаболизма экосистем с учетом воздействия естественных (пожары, инвазии) и антропогенных (вырубка лесов, распашка) факторов, которые существенно меняют соотношение площадей почв и состава растительного покрова, что отражается на динамике эмиссии С/СО₂ в многолетнем режиме.

Естественные катастрофы – пожары и инвазии вредителей (шелкопряд, саранча), отнюдь не случайны, они служат естественным завершением господства стадии климакса коренной растительной формации, которая на заключительном этапе истощает запас минеральных элементов экотопа, переводя его в биомассу, ослабляет иммунитет эдификатора и подвергает его массовым стрессам (Фурьев, 1996).

Восстановительная сукцессия путем последовательной смены видового состава автотрофной и сапротрофной биоты возвращает экотоп в исходное состояние, пригодное для успешного функционирования коренных растительных ассоциаций (Керженцев, 2006; Керженцев, Трашеев, 2011). Этот естественный процесс регулярно повторяется.

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Мы попытались проследить изменение годовой эмиссии С/СО₂ в ходе восстановительной сукцессии лесов южной тайги Обь-Енисейского междуречья (Фурьев, 1996; Керженцев, Трашеев, 2011). Простая модель пространственной динамики пятен мозаики лесного полога, отображающих разные стадии восстановительной пирогенной сукцессии, позволяет проследить с годовым шагом многолетнюю динамику изменения площадей фитоценозов, представляющих отдельные стадии сукцессии в результате их чередования во времени и перемещения в пространстве (мерцание мозаики).

На карте (рис. 1) лесного массива Касской равнины площадью 130 тыс. га каждый контур представляет конкретный тип экосистемы и одновременно конкретную стадию сукцессии. Их возраст определил В.В.Фурьев (1996). Для большей наглядности мы объединили 8 стадий в три этапа сукцессии, добавили к площади контура годовую эмиссию С/СО₂ (табл. 1) и запустили модель. Каждый контур проходит поочередно три этапа сукцессии. Разница стартов сукцессии в разных контурах через определенное время может существенно изменить соотношение площадей трех этапов, а значит, и общую величину эмиссии.

В данном эксперименте мы допускаем, что в течение всего периода прохождения стадии (5–40 лет) размер эмиссии не меняется, хотя в реальной природе эмиссия меняется постепенно. Резкий скачок наблюдается только в конце стадии кли-

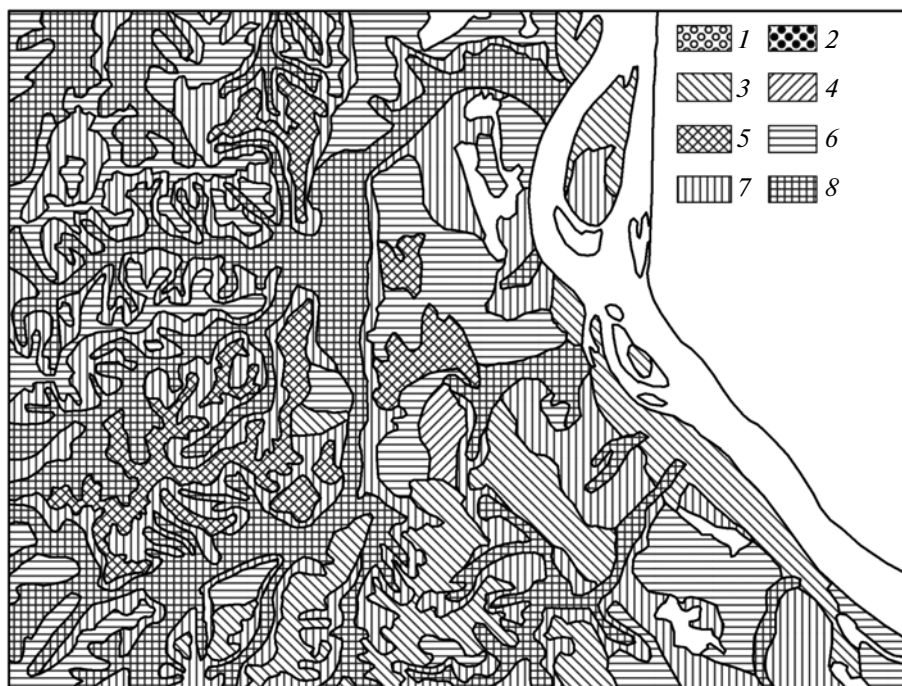


Рис. 1. Исходное положение стадий пирогенной сукцессии лесов Касской равнины. Обозначение стадий см. в табл. 1.

макса, когда коренная лесная формация уничтожается пожаром или инвазией. Кроме этого, зональные подзолистые почвы на третьей стадии сукцессии превращаются в дерново-подзолистые в результате функционирования экосистемы, лишенной хвойного полога, в условиях лесостепного климата. Только после выхода хвойных пород в первый ярус почвы постепенно приобретают облик подзолистых (Керженцев, 1972).

В численном эксперименте мы рассчитали ежегодную динамику эмиссии C/CO_2 почвенным покровом Касской равнины. Для каждого года высчитали соотношение площадей трех этапов сукцессии и суммарную эмиссию C/CO_2 (табл. 2). Например, площадь этапа 3 уменьшалась от 85 тыс. га (2009 г.) до 9 тыс. га (2119 г.), соответственно менялась и эмиссия.

Результаты моделирования позволили построить несколько сценариев расчета эмиссии C/CO_2 для разных периодов пирогенной сукцессии и сопоставить полученные данные. На рис. 1 зафиксировано состояние древостоев в 1979 г., на рис. 2 показана годовая динамика соотношений площадей трех этапов сукцессии на период 1979–2199 гг. (Керженцев, Тращев, 2011). Годовая динамика эмиссии C/CO_2 почвенным покровом Касской равнины за весь период восстановительной сукцессии 220 лет с учетом ежедекадных изменений площадей этапов сукцессии (молодняки, лиственные и хвойные леса) показана на рис. 3.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Суммарная эмиссия, рассчитанная по модели за весь период сукцессии с общей площади Касской равнины (130 тыс. га), составляет 101.7 Мт. Мы сравнили с этими данными результаты расчетов, выполненных на основе карт, которые могли быть составлены в разные периоды сукцессионного цикла. Например, на основе реальной карты 1979 г. годовая эмиссия составила 409.5 Кт (см. табл. 2), а суммарная эмиссия за 220 лет — 90.1 Мт, что на 11.6 Мт меньше, чем по модельным расчетам.

На основе карты 2009 г. годовая эмиссия этапа хвойных лесов была минимальной — 397.8 Кт, суммарная эмиссия за 220 лет составила 87.5 Мт, или на 14.2 Мт меньше модельного расчета. По карте 2069 г. годовая эмиссия этапа молодняков должна быть максимальной — 510.9 Кт, а суммарная эмиссия за 220 лет — 112.4 Мт, или на 10.7 Мт больше расчетной по модели. По карте 2174 г. годовая эмиссия этапа лиственных лесов равна 462.15 Кт, а суммарная эмиссия 101.7 Мт, что соответствует многолетней эмиссии, рассчитанной по модели.

Амплитуда колебаний годовых эмиссий за период восстановительной сукцессии (220 лет) составляет 24.9 Мт C/CO_2 (от 87.5 до 112.4 Мт C/CO_2). Ошибка расчетов может составить 25%. Поэтому для повышения объективности расчетов многолетней эмиссии C/CO_2 необходимо учитывать годовую динамику эмиссии за период сукцессии или вычислить среднюю величину эмиссии за этот период. Это особенно важно при составле-

Таблица 1. Типы почв и их годовая эмиссия С/СО₂ на разных стадиях пирогенной сукцессии лесного массива Касской равнины (Фуряев, 1996)

| № стадии | Стадия сукцессии | Тип почвы | Длительность стадии, лет | Эмиссия СО ₂ , кг/С га/год |
|----------------------------------|---|---------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Свежие пожарища (горельники) | Подзолистые | 5 | 5000 |
| 2 | Травяно-кустарниковые ассоциации с распадом материнского древостоя и формированием листовенных молодняков | Подзолистые | 15 | 4500 |
| 3 | Сомкнутые листовенные молодняки с формированием подроста темнохвойных | Дерново-подзолистые | 20 | 4500 |
| Этап 1. Средняя величина эмиссии | | | | 4667 |
| 4 | Листовенные насаждения с формированием второго яруса темнохвойных | Дерново-подзолистые | 40 | 4000 |
| 5 | Листовенные насаждения с выходом темнохвойных в первый ярус | Дерново-подзолистые | 40 | 3500 |
| 6 | Смешанные темнохвойно-лиственненные насаждения. На протяжении всей стадии листовенные породы в составе первого яруса преобладают по количеству и запасу | Дерново-подзолистые | 40 | 3500 |
| Этап 2. Средняя величина эмиссии | | | | 3667 |
| 7 | Смешанные листовенно-темнохвойные насаждения. В составе пород преобладают темнохвойные | Подзолистые | 20 | 3000 |
| 8 | Коренные и условно-коренные темнохвойные насаждения. Листовенные встречаются единично | Подзолистые | 40 | 2500 |
| Этап 3. Средняя величина эмиссии | | | | 2750 |

Примечание. Годовая эмиссия С/СО₂ приводится по базе данных, представленной в книге “Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России” (2007), с поправкой на фациальные особенности почв.

нии региональных и глобальных балансов углекислоты.

Идеальным выходом из этой ситуации могла бы стать динамическая карта функционирования естественных, аграрных и урбанизированных экосистем, меняющая содержание контуров при изменении гидротермических условий и фаз развития экосистем. Динамическая карта позволит контролировать поведение экосистем региона в многолетнем режиме при различных сценариях изменения климата и антропогенной нагрузки, подобно кинематографии.

Такие карты в ближайшем будущем могут дополнить традиционные тематические карты, как когда-то кинематография дополнила фотографию. Не заменила, а дополнила! И открыла широкие возможности для отображения самых разных динамических процессов в природе и технике. Экология остро нуждается в технических средствах, способных отобразить динамику функционирования природных, аграрных и урбанизированных экосистем при изменении факторов среды и антропогенной нагрузки. Натурные эксперименты в реальных экосистемах слишком длительны, дороги и рискованны. Их нужно заменить численными экспериментами на основе математических моделей с последующей проверкой в натуре вычисленных результатов. Эмиссия

СО₂ – удобный объект для разработки методики динамического картографирования. В дальнейшем можно будет использовать в динамическом картографировании и другие динамические параметры экосистемы (биофильные элементы, активность почвенной биоты, прирост и опад биомассы, загрязняющие вещества и др.).

Главное условие составления объективного баланса парниковых газов – учет механизма функционирования экосистемы как симбиоза растительности и почвы в локальном, региональном и глобальном масштабах. Нарушение баланса СО₂ в атмосфере – верный признак нарушения метаболизма биосферы или отдельных региональных экосистем. Нормальная экосистема функционирует в стационарном режиме перманентной адаптации к меняющимся факторам среды и постоянно поддерживает стабильный уровень гомеостаза – интегральной массы живого и отмершего органического вещества. Повышение концентрации СО₂ увеличивает продуктивность фитоценозов и концентрацию кислорода, которая активизирует минерализацию органического вещества педоценозов и эмиссию СО₂. Взаимодействие этих саморегулирующих процессов поддерживает динамическое равновесие метаболизма природных экосистем с флуктуациями факторов среды. В аграрных и урбанизированных экосистемах этот

Таблица 2. Эмиссия C/CO₂ почвенным покровом Касской равнины на период пирогенной сукцессии 220 лет*

| Год | Площадь, га | | | Эмиссия CO ₂ , Кт С | | | Суммарная эмиссия, Кт |
|------|-------------|--------|--------|--------------------------------|--------|--------|-----------------------|
| | Этап 1 | Этап 2 | Этап 3 | Этап 1 | Этап 2 | Этап 3 | |
| 1979 | 3900 | 54600 | 71500 | 17.55 | 193.7 | 198.25 | 409.5 |
| 1989 | 13000 | 58500 | 58500 | 65 | 209.3 | 156 | 430.3 |
| 1994 | 13000 | 58500 | 58500 | 58.5 | 209.3 | 156 | 423.8 |
| 1999 | 13000 | 44200 | 72800 | 58.5 | 156.65 | 189.15 | 404.3 |
| 2009 | 13000 | 31200 | 85800 | 58.5 | 111.15 | 228.15 | 397.8 |
| 2019 | 32500 | 31200 | 66300 | 156 | 111.15 | 172.25 | 439.4 |
| 2024 | 32500 | 31200 | 66300 | 146.25 | 111.15 | 172.25 | 429.65 |
| 2029 | 39000 | 44200 | 46800 | 185.25 | 161.2 | 117 | 463.45 |
| 2034 | 39000 | 44200 | 46800 | 175.5 | 161.2 | 117 | 453.7 |
| 2039 | 58500 | 44200 | 27300 | 273 | 161.2 | 68.25 | 502.45 |
| 2044 | 58500 | 44200 | 27300 | 263.25 | 161.2 | 68.25 | 492.7 |
| 2049 | 58500 | 32500 | 39000 | 263.25 | 120.25 | 103.35 | 486.85 |
| 2059 | 53300 | 41600 | 35100 | 247 | 161.85 | 98.8 | 507.65 |
| 2064 | 53300 | 41600 | 35100 | 239.85 | 161.85 | 98.8 | 500.5 |
| 2069 | 46800 | 61100 | 22100 | 217.1 | 233.35 | 60.45 | 510.9 |
| 2074 | 46800 | 61100 | 22100 | 210.6 | 233.35 | 60.45 | 504.4 |
| 2079 | 27300 | 75400 | 27300 | 122.85 | 293.15 | 70.85 | 486.85 |
| 2089 | 27300 | 75400 | 27300 | 122.85 | 293.15 | 70.85 | 486.85 |
| 2099 | 13000 | 89700 | 27300 | 58.5 | 340.6 | 68.25 | 467.35 |
| 2109 | 11700 | 98800 | 19500 | 58.5 | 369.2 | 50.7 | 478.4 |
| 2114 | 11700 | 98800 | 19500 | 52.65 | 369.2 | 50.7 | 472.55 |
| 2119 | 22100 | 98800 | 9100 | 104.65 | 359.45 | 24.7 | 488.8 |
| 2124 | 22100 | 98800 | 9100 | 99.45 | 359.45 | 24.7 | 483.6 |
| 2129 | 22100 | 98800 | 9100 | 99.45 | 359.45 | 22.75 | 481.65 |
| 2139 | 27300 | 98800 | 3900 | 125.45 | 352.3 | 9.75 | 487.5 |
| 2144 | 27300 | 98800 | 3900 | 122.85 | 352.3 | 9.75 | 484.9 |
| 2149 | 15600 | 97500 | 16900 | 70.2 | 347.1 | 48.75 | 466.05 |
| 2159 | 5200 | 107900 | 16900 | 23.4 | 388.7 | 48.75 | 460.85 |
| 2169 | 9100 | 107900 | 13000 | 42.9 | 388.7 | 32.5 | 464.1 |
| 2174 | 9100 | 107900 | 13000 | 40.95 | 388.7 | 32.5 | 462.15 |
| 2179 | 3900 | 93600 | 32500 | 17.55 | 341.25 | 91 | 449.8 |
| 2189 | 3900 | 74100 | 52000 | 17.55 | 267.15 | 149.5 | 434.2 |
| 2199 | 3900 | 54600 | 71500 | 17.55 | 193.7 | 198.25 | 409.5 |
| 2209 | 13000 | 58500 | 58500 | 65 | 209.3 | 156 | 430.3 |
| 2214 | 13000 | 58500 | 58500 | 58.5 | 209.3 | 156 | 423.8 |

* Каждому году соответствуют соотношения площадей этапов и эмиссии C/CO₂. Соотношения остаются неизменными до года, приведенного в следующей строчке таблицы.

механизм нарушен, поэтому нужно вносить соответствующие коррективы.

Стихийные и антропогенные стрессы нарушают гомеостаз экосистемы и вызывают дисбаланс метаболизма. В результате нарушений гомеостаза возрастает степень разомкнутости круговорота вещества в метаболизме экосистемы. Если в ненарушенной природной экосистеме разомкнутость цикла метаболизма не превышает 1–10%, то в аграрной экосистеме она достигает 50% суммарной массы живого и отмершего органического вещества. Газовая фаза вещества теряется в атмосферу, жидкая – в гидросферу, коллоидная – в литосферу, нарушая устойчивый обмен вещества между биологическим и геологическим круговоротами.

Естественные потери вещества ненарушенных экосистем (1–10%) компенсируются за счет атмосферных выпадений и выветривания горных пород. Огромные потери аграрных и урбанизированных экосистем (50%) требуют соответствующей компенсации. Агрехимические методы здесь явно недостаточны.

Цикл метаболизма экосистемы определяется временем полного обновления массы живого и отмершего органического вещества экосистемы (характерное время экосистемы), когда приходная и расходная части баланса становятся равными. Оно равно времени жизни самой устойчивой фракции. В лесных экосистемах – это время жизни вида-эдикатора, в травянистых экосистемах – самой устойчивой фракции гумуса (Ковда и др., 1990). Природные механизмы регулируют

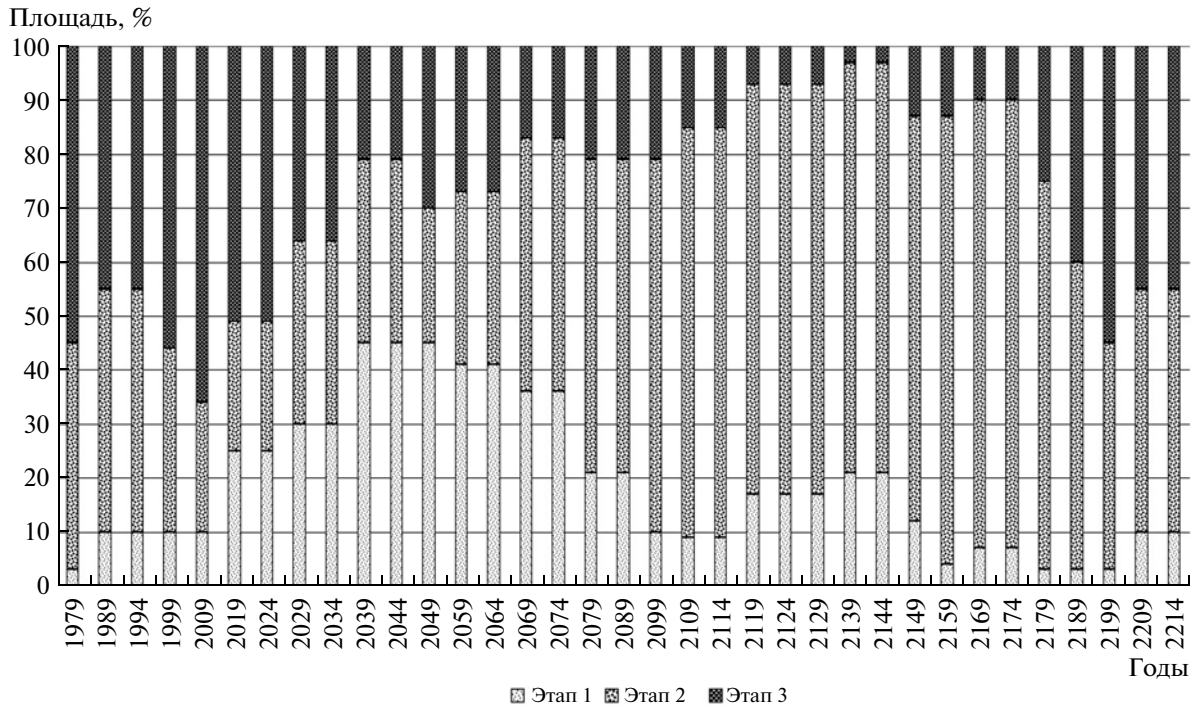


Рис. 2. Динамика соотношения площадей разных этапов сукцессии за 220 лет.

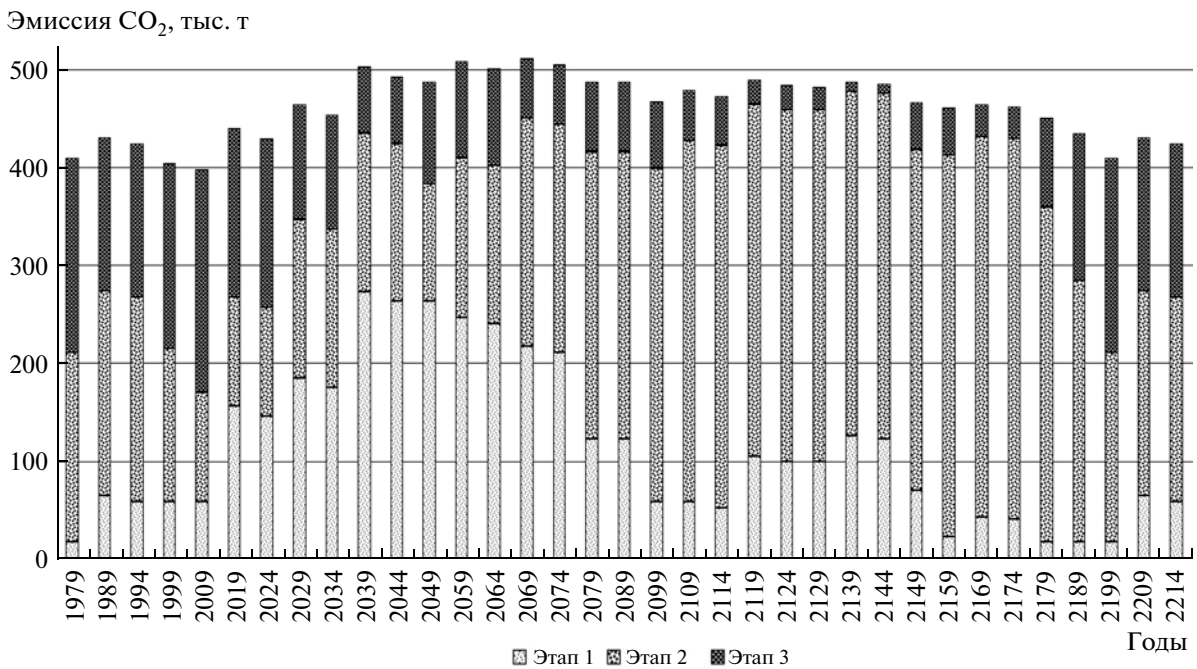


Рис. 3. Эмиссия С/СО₂ почвенным покровом Каспийской равнины за 220 лет.

вещественный баланс экосистемы именно в этих масштабах времени (Керженцев, Зеленская, 1986). Например, в дубраве стволовая древесина станет фракцией опада один раз в 300 лет. За это время ветви станут опадом 30 раз, а листья и сосущие корни 300 раз. Можно представить, сколько раз за 300 лет превратится в опад живая микробная масса при длительности жизненного цикла

10 сут. Этого никто не считал, но каждое поколение почвенной микрофлоры и фауны добросовестно выполняет свою работу по минерализации отработавшей ресурс и отмершей биомассы для снабжения фитоценоза элементами минерального питания. О степени согласованности функций биоты в метаболизме экосистемы говорит степень замкнутости цикла (90–99%).

Поэтому для расчета многолетней динамики фазовых превращений вещества экосистемы в процессе метаболизма необходимо учитывать характерное время полного обновления массы органического вещества и его компонентов: биомассы, некромассы и минеральной массы (Керженцев, 2006, 2012). Экосистема функционирует в стационарном режиме гомеостаза, где все компоненты работают слаженно, как шестеренки часового механизма, управляющего секундной, минутной и часовой стрелками. Живая экосистема функционирует с определенным люфтом, позволяющим адаптировать метаболизм к постоянно меняющимся факторам среды в суточном, годовом и многолетнем циклах.

Традиционно в расчетах годового баланса вместо биомассы используется только фитомасса, а зоомасса и микробиомасса не учитываются вследствие их сравнительно малой величины. Однако в масштабе характерного времени обновления массы органического вещества эти величины вполне сопоставимы (Керженцев, Зеленская, 1986).

Время обновления органического вещества почв в балансовых расчетах сильно завышается (тысячелетия). Наши расчеты на основе измеренных запасов гумуса и массы годового опада — единственного источника гумификации (Ковда и др., 1990; Керженцев, 1993) — показали, что органическое вещество профиля дерново-подзолистой почвы полностью обновляется в течение 70–100 лет, серой лесной почвы — 150–200 лет, чернозема — 350–500 лет. В тропических почвах время обновления гумуса не превышает 20 лет. Погребенный гумус может храниться многие тысячелетия, а гумус живой экосистемы постоянно обновляется за счет ежегодного поступления свежего опада и постоянного процесса его разложения (минерализации). Стационарный режим метаболизма экосистемы обеспечивает стабильность запасов гумуса и мощности горизонтов в каждом педоценозе на протяжении многих столетий и тысячелетий.

ВЫВОДЫ

На основе проведенной серии численных экспериментов и теоретических положений функциональной экологии можно сделать следующие выводы:

1. Динамика эмиссии C/CO_2 почвенным покровом зависит не только от гидротермических условий, но и от стадии развития экосистем локального, регионального и глобального масштаба в момент определения.

2. Жизненный цикл экосистем можно измерять временем восстановительной сукцессии, характерным для каждого типа экосистем.

3. Результаты балансовых расчетов эмиссии C/CO_2 , которые построены на основе почвенных карт, составленных в периоды господства на дан-

ной территории разных типов экосистем, могут различаться на 25%.

4. Для повышения точности количественной оценки и прогноза многолетних эмиссий C/CO_2 почвами различных зональных экосистем необходимо учитывать динамику их функционирования на каждой стадии сукцессионного цикла или вычислять средние годовые эмиссии за этот период.

5. На основе закономерностей, выявленных при исследовании эмиссии C/CO_2 в сукцессионном цикле лесных экосистем, разрабатываются научно-методические основы динамического картографирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воронин П.Ю., Блэк К.К. Значение и место фотосинтетического стока углерода в органической ветви его глобального цикла // Физиология растений. 2005. Т. 52. № 1. С. 81–89.
- Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. 470 с.
- Заварзин Г.А., Кудяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестн. РАН. 2006. Т. 76. № 1. С. 14–29.
- Керженцев А.С. Автоморфные почвы Причумылья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1972. 26 с.
- Керженцев А.С. Изменчивость почвы в пространстве и во времени. М.: Наука, 1993. 110 с.
- Керженцев А.С. Функциональная экология. М.: Наука, 2006. 259 с.
- Керженцев А.С. Новое перспективное научное направление // Вестн. РАН. 2012. Т. 82. № 5. С. 432–440.
- Керженцев А.С., Зеленская Н.Н. Роль почвы в структуре и функциях природных экосистем // Информационные проблемы изучения биосферы. Эксперимент “Убсу-Нур”. Пушино: ПНЦ РАН, 1986. С. 62–77.
- Керженцев А.С., Трапезов Р.В. “Двойная карусель” сукцессионного процесса в региональной экосистеме // Экология. 2011. № 6. С. 409–416.
- Ковда В.А., Бугровский В.В., Керженцев А.С., Зеленская Н.Н. Модель трансформации органического вещества в почве для изучения функции почвы в экосистемах // Докл. АН СССР. 1990. Т. 312. № 3. С. 759–762.
- Кудяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1112–1121.
- Личков Б.Л. Современный литогенезис на материковых равнинах // Изв. АН СССР. Серия географич. и геофизич. 1945. Т. 9. № 5–6. С. 547–564.
- Марчук Г.И., Кондратьев К.Я. Приоритеты глобальной экологии. М.: Наука, 1992. 264 с.
- Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Отв. ред. акад. Заварзин Г.А. М.: Наука, 2007. С. 162–165.
- Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
- Ben Bond-Lamberty, Allison Thomson. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // Nature. 2010. V. 464. P. 579–582.
- Jenkinson D.S., Adams D.E., Wild A. Model estimates of CO_2 emissions from soil in response to global warming // Nature. 1991. V. 351. P. 304–306.