

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.433.53

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПРОДУКЦИИ CO₂ ПОЧВАМИ ДЕНДРАРИЯ БОТАНИЧЕСКОГО САДА МГУ им. М.В. ЛОМОНОСОВА

О.Ю. Гончарова, О.В. Семенюк, Г.В. Матышак, А.А. Бобрик

Прослежена годовая динамика продукции диоксида углерода (эмиссия и профильная концентрация) почвами дендрария Ботанического сада МГУ под посадками ели сибирской и сосны обыкновенной. Высокая биологическая активность изученных почв обусловлена их сильной гумусированностью, слабощелочной реакцией среды, хорошей оструктуренностью. Различия в продукции CO₂ почвами ельника и сосняка (в последнем она в 1,5–2 раза выше) можно объяснить разным строением почвенных профилей, а не температурным режимом. Сезонная динамика продукции CO₂ одинакова для обеих почв и связана с сезонными изменениями климатических параметров. В холодный период года наблюдается заметная продукция диоксида углерода почвами.

Ключевые слова: температурный режим почв, эмиссия CO₂, CO₂ почвенного воздуха, Ботанический сад МГУ, антропогенные почвы.

Введение

В настоящее время в мире существует около 2300 ботанических садов и дендрариев, которые являются центрами флористических и геоботанических исследований, проведения просветительской деятельности в области экологического образования населения [2]. В России на сегодняшний день функционируют 99 ботанических садов, большая часть которых принадлежит высшим учебным заведениям (университеты, сельскохозяйственные, лесотехнические и медицинские институты). Они являются базой для проведения учебного процесса и выполнения экспериментальных научно-исследовательских работ [9]. Городские ботанические сады необходимо рассматривать как уникальные искусственные экосистемы, в которых, благодаря постоянному вложению ресурсов, удается частично компенсировать негативное воздействие городской среды и создавать высокий уровень биоразнообразия [8]. Непременным атрибутом этих искусственных экосистем является почвенный покров. Почвы Ботанического сада МГУ отличаются как от других городских почв, в том числе парков, так и от природных почв Подмоскovie. Различия проявляются в строении почвенного профиля, химических свойствах, составе почвенной биоты [6, 7, 12]. Почвы Ботанического сада МГУ имеют высокий уровень плодородия и относительно слабо загрязнены. Почвенный покров весьма разнообразен и включает почвы от антропогенно-преобразованных до сконструированных. Почвы — неотъемлемый компонент уникальной искусственной системы сада, и их можно рассматривать как важнейший экологический объект для изучения

с целью выявления сходства и различия с естественными зональными почвами и почвами других городских территорий. В отечественном почвоведении такие подходы пока применяются редко [25], хотя в мировых экологических исследованиях в настоящее время уделяют пристальное внимание таким функциям городских зеленых территорий, как поглощение и эмиссия парниковых газов, связывание углерода [13–15, 17–19, 21, 22, 24, 26, 27].

Цель работы — установить особенности круглогодичного функционирования почв дендрария Ботанического сада МГУ: оценить температурный режим почв на основе микроклиматических данных, выявить закономерности сезонной динамики продукции CO₂ (эмиссия и концентрация) и сравнить две экосистемы (ельник и сосняк) по перечисленным параметрам.

Объекты и методы исследования

Ботанический сад МГУ на Воробьевых горах, заложенный в 1950 г., расположен на расстоянии 800 м к юго-западу от края высокого правого берега р. Москвы. Территория сложена слабоводопроницаемыми покровными пылеватыми глинами и суглинками, залегающими на морене. Основные работы по планировке территории и рекультивации плодородного слоя проводили в 1950–1951 гг. В течение первых 10–20 лет в почвы вносили низинный торф и минеральные удобрения [10].

Объекты исследования — почвы под насаждениями ели сибирской (*Picea obovata*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). В подросте ели

встречаются клен остролистный (*Acer platanoides*) и рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), в подлеске — жимолость обыкновенная (*Lonicera xylosteum*) и смородина обыкновенная (*Ribesia vulgare*). В напочвенном покрове преобладает сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), встречается недотрога обыкновенная (*Impatiens noli-tangere*), чистотел большой (*Chelidonium majus*). Проектное покрытие составляет 65—70%. В подросте сосны отмечен клен остролистный, напочвенный покров — заросли крапивы двудомной (*Urtica dioica*), проективное покрытие высокое — до 95%.

Исследования проводили на двух стационарных площадках, расположенных в посадках ели и сосны, с ноября 2013 по ноябрь 2014 г., а также в зимний период 2012/13 г.

Режимные годовые температурные исследования включали в себя измерение температуры воздуха с интервалом 4 ч на высоте 1,5 м, на поверхности почвы и на глубинах 10, 20, 40, 60 см с помощью программируемых микро-термодатчиков ThermochroniButton™ [11]. Для анализа рассчитывали среднегодовые температуры на всех глубинах, сумму температур выше и ниже 0° и сумму температур выше 10°. За годовую амплитуду температур (континентальность климата, по В.Н. Димо [3]) принимали разницу среднемесячной температуры самого теплого и самого холодного месяца на глубине 20 см. Морозные *N*-факторы (иногда называемые «зимними») вычисляли через отношение суммы среднесуточных температур меньше нуля на поверхности почвы к сумме отрицательных температур воздуха за тот же период. *N*-фактор — температурный индекс поверхности — один из методов параметризации поверхностного энергетического баланса [20]. Среднесуточными показателями температуры воздуха служили собственные микроклиматические измерения.

Режимные наблюдения за эмиссией углекислого газа с поверхности почвы с удаленной растительностью проводили методом закрытых камер в 3-кратной повторности на каждой площадке [11, 23]. Измеряли эмиссию в переходные сезоны (весна, осень) — раз в неделю, в стабильные (зима, лето) — раз в две недели в интервале времени с 13 до 15 ч, после интенсивных дождей — не раньше чем через двое суток. Время экспозиции — от 10 до 60 мин. в зависимости от температуры воздуха. Камера для измерений представляет собой цилиндр из нержавеющей стали (высота 15, диаметр 10 см), помещенный в пластиковое основание, стационарно установленное в почву на глубину 2 см. Отбор в динамике пробы воздуха из изолированного объема надпочвенной атмосферы проходит сразу после установки камеры и по истечении 10—60 мин. (для отбора проб в камерах имеются отверстия, закрытые резиновыми пробками). Концентрацию

CO₂ измеряли на портативном инфракрасном газоанализаторе RMTDX6210.

Для измерения концентрации углекислого газа на разных глубинах (10, 20, 40, 60 см) в почву помещали герметично закрытые трубки диаметром 1 см с перфорацией в нижней части [11, 24]. Отбирали пробы через резиновую пробку.

Статистическая обработка данных проведена в программе Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Морфологическая характеристика почв. Почвенные профили развивались на насыпных отложениях разной мощности, которые закладывались при формировании ботанического сада. По-видимому, в дальнейшем верхние горизонты не испытывали механического или какого-либо иного антропогенного вмешательства, так как режим ухода за насаждениями предполагает регулирование только растительного покрова данных биогеоценозов.

Для еловых насаждений характерна маломощная (0,5 см) деструктивная подстилка [1], состоящая из опада прошлых лет. Вскрытый почвенный профиль сформирован на насыпных отложениях средне- и тяжелосуглинистого состава. Верхняя его часть представлена хорошо выраженным гумусово-аккумулятивным горизонтом (10 см) комковатой структуры. Ниже, до глубины 20 см, залегает переходный гумусовый горизонт, неоднородный по степени гумусированности. Нижняя часть профиля преимущественно буровато-палевых оттенков. Почву отличает значительная уплотненность по всему профилю (за исключением верхнего горизонта). Необходимо отметить его высокую биогенность до 80 см, диагностируемую по копролитам и ходам червей. Все горизонты содержат включения: антропоморфы и литоморфы, преобладают карбонатные включения и углистые частицы. Отмечено вскипание только карбонатных включений. Почва классифицирована как урбиквазизем [4], или рекреазем [12].

Подстилка сосновых насаждений маломощная (0,5 см), представлена опадом прошлых лет и относится к типу деструктивных. Особенность строения почвенного профиля заключается в том, что на глубине 60 см он делится на две части: верхнюю, сложенную из насыпных отложений, и нижнюю, представленную погребенными горизонтами естественной зональной дерново-подзолистой почвы. Верхняя часть имеет среднесуглинистый состав со значительным количеством разнообразных антропогенных включений, в том числе и карбонатных, в пределах всей толщи. Поверхностный гумусово-аккумулятивный горизонт (0,5—7(15) см) буровато-темно-серого цвета, комковато-зернистой структуры с «бусами» по корням растений, отмечены копролиты. Нижележащий слой (до 60 см)

также гумусовый, он неоднородный, рыхлый, буровато-темно-серый, комковато-зернистый. Содержит много (до 30%) включений, что позволяет диагностировать его как урбиковый, а наличие таких включений, как железные изделия, обломки фарфора, древесные фрагменты, дает повод охарактеризовать этот слой как культурный. Почвенная масса насыпного слоя вскипает с 5 см, за исключением некоторых морфонов в нижней части. Там они более светлые и однородные по окраске, плотнее общей массы горизонта, с меньшим количеством включений. Нижняя часть профиля представлена фрагментарно выраженным переходным среднесуглинистым гор. ELB и средне-тяжелосуглинистым иллювиальным гор. BT. Почва классифицирована как стратозем серогумусовый на погребенной почве урбо-стратифицированный [4], или культурозем [12].

Температурный режим почв. И сосняк, и ельник имеют схожий годовой температурный профиль. Среднегодовая температура с глубиной меняется очень незначительно, повышаясь от 7,0° на поверхности до 7,5° на глубине 60 см. Исключение составляет почва ельника на глубине 10 см, где среднегодовая температура снижается до 6,5°. В целом по году почва ельника несколько холоднее по всему профилю (рис. 1). Континентальность обеих почв в исследуемом году составляет около 16°, что характеризует температурный режим как умеренный.

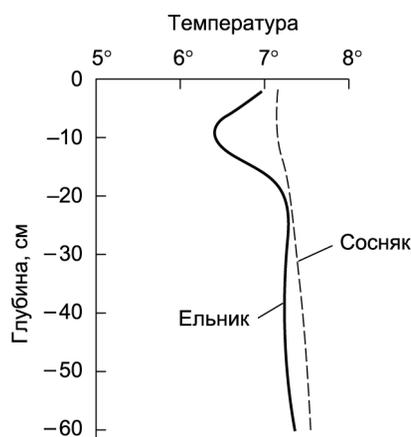


Рис. 1. Среднегодовые температурные профили почв

Для оценки вклада в годовой баланс положительных и отрицательных температур была подсчитана их сумма на всех глубинах (таблица). Теплообеспеченность почвы сосняка в теплый период (т.е. с положительными температурами) на всех глубинах выше, чем ельника. Сумма активных температур (>10°) на глубине 20 см в ельнике составляет 1852° (136 дней), в сосняке 1984° (142 дня). Глубина проникновения активных температур в обеих почвах больше 60 см. Вероятно, различия в теплообеспеченности почв двух экосистем в теп-

лый период можно объяснить их разными теплофизическими свойствами (температуропроводность): суммарный приход тепла на поверхность обеих почв в это время одинаковый.

Сумма положительных и отрицательных среднесуточных температур за ноябрь 2013 — октябрь 2014 гг., град. С

Объект	Положительные		Отрицательные	
	сосняк	ельник	сосняк	ельник
Воздух	3130,6	3079,4	-455,4	-432,5
Поверхность почвы	2640,0	2640,1	-93,8	-146,5
10 см	2528,0	2309,2	-36,8	-71,7
20 см	2529,2	2485,1	-4,3	-4,4
40 см	2531,4	2444,0	0,0	0,0
60 см	2538,1	2474,3	0,0	0,0

В холодный период сумма отрицательных температур в почве сосняка (по модулю) несколько ниже на всех глубинах, чем ельника, что можно объяснить разной мощностью и временем залегания снегового покрова. Оценить влияние последнего на температурный режим поверхности почв можно с помощью *N*-фактора: в сосняке он существенно ниже, чем в ельнике (0,21 и 0,34), что свидетельствует о большей мощности снегового покрова в первом и большей продолжительности его залегания. По годовому ходу среднесуточных температур воздуха и на поверхности почв четко регистрируются даты формирования снегового покрова. На обоих участках они совпадают — 12—14 января, причем снеговой покров в сосняке сохраняется дольше на месяц, приблизительно до середины марта. Меньшая мощность снегового покрова и быстрый его сход в ельнике объясняется большей сомкнутостью крон и наличием опушек, лучше прогреваемых весной.

Промерзание почв в исследуемый период ограничилось верхними 20 см. На глубине 10 см почва находилась в промерзшем состоянии (среднесуточная температура почвы <-0,5°) меньше двух месяцев.

Таким образом, по классификации В.Н. Димо [3], исследованные почвы можно отнести к умеренно холодному подтипу в типе сезонно-промерзающих. Основные температурные показатели соответствуют таковым, характерным для южнотажной подзоны дерново-подзолистых почв. По микроклиматическим характеристикам почва ельника в годовом цикле более холодная на всех глубинах как за счет меньшей теплообеспеченности в летний период, так и за счет более низких температур зимнего периода. Разница в температурных режимах этих почв незначительная.

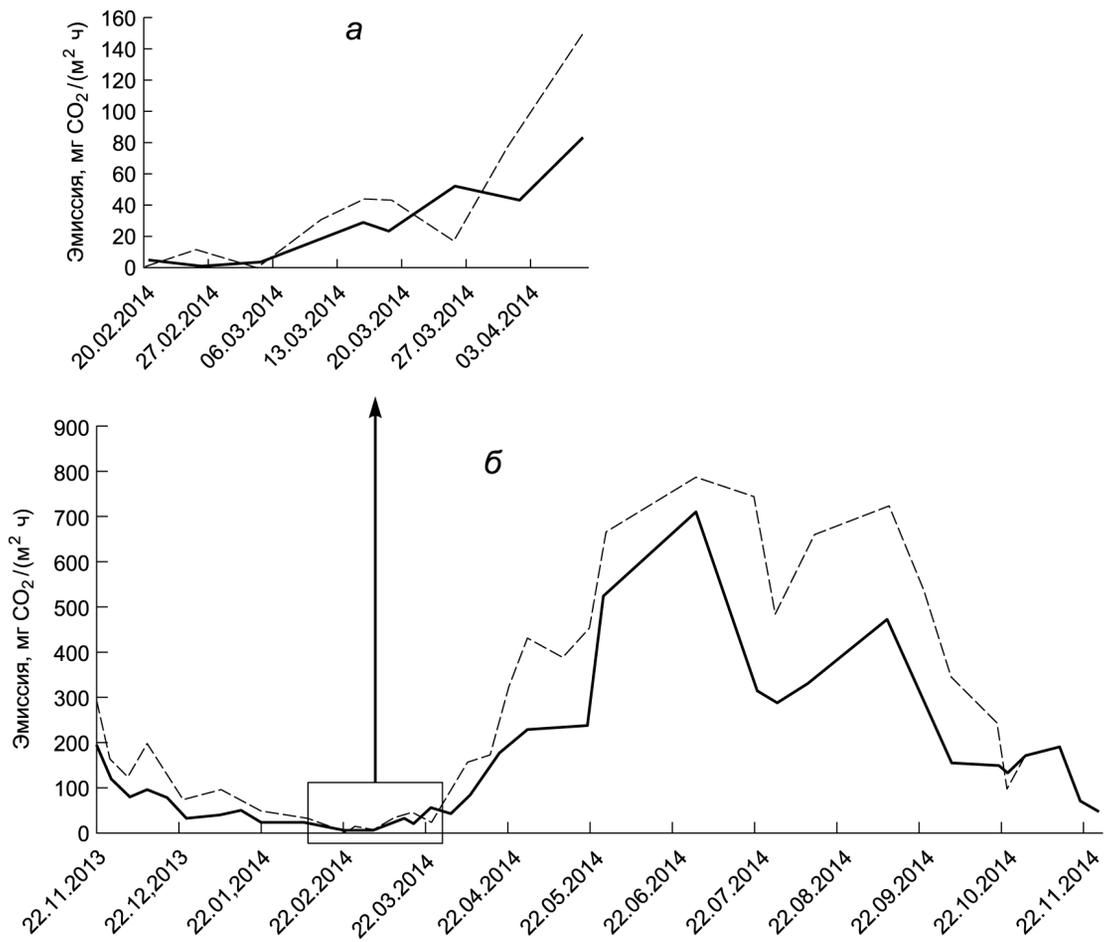


Рис. 2. Эмиссия CO_2 с поверхности почвы ельника (сплошная линия) и сосняка (пунктирная линия) в течение года (а) и в весенний период (б)

Эмиссия CO_2 с поверхности почв. Эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы ельника в течение года варьировала от 0 до 700, сосняка — от 0 до 800 $\text{мг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (рис. 2). Зимой близкие к нулю значения наблюдались около трех недель (7 нед. — зимой 2012/13), с 15 февраля по 5 марта. Показатели эмиссии в остальное время года превышали 20 $\text{мг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Для обеих почв резкий рост эмиссии диоксида углерода началось в первых числах апреля и достигло максимума к началу июля. С конца июля до середины августа процесс замедлился: в 1,5 раза в сосняке и в 2,5 — в ельнике. Еще один пик был зафиксирован в середине сентября в сосняке, в ельнике он был выражен слабее. Резкое осеннее снижение эмиссии наблюдалось с 20-х чисел сентября и было связано с резким падением температур воздуха и почв. Отмечена существенная корреляция в годовом цикле эмиссии CO_2 для почв обеих экосистем ($R^2 = 0,9$), однако в сосняке процесс на протяжении всего года был интенсивнее (приблизительно в 1,5–2 раза).

При общих тенденциях в годовом тренде эмиссии CO_2 с поверхности почв обеих экосистем в отдельные сезоны они могут иметь разнонаправленный характер. Особенно ярко это выражено

в переходные сезоны, в частности, весной (рис. 2). Это обстоятельство, как отмечалось выше, связано с разными сроками схода снега и, соответственно, разной скоростью прогрева верхних горизонтов почв.

В годовом цикле эмиссия CO_2 слабо коррелирует с температурой воздуха ($R^2 = 0,5$) и хорошо — с температурой почвы на глубинах 10 и 20 см ($R^2 = 0,7$) (рис. 3). Максимальные значения эмиссии наблюдаются при умеренно теплых среднесу-

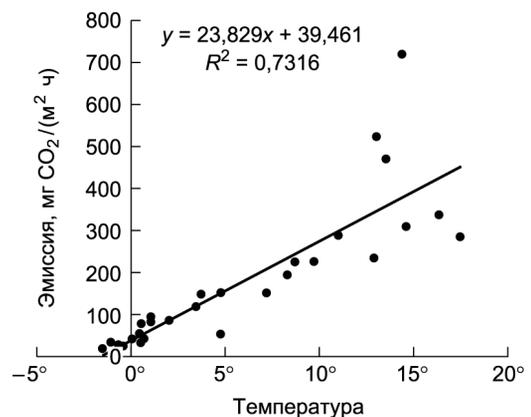


Рис. 3. Зависимость эмиссии CO_2 с поверхности почвы ельника от температуры почвы на глубине 10 см

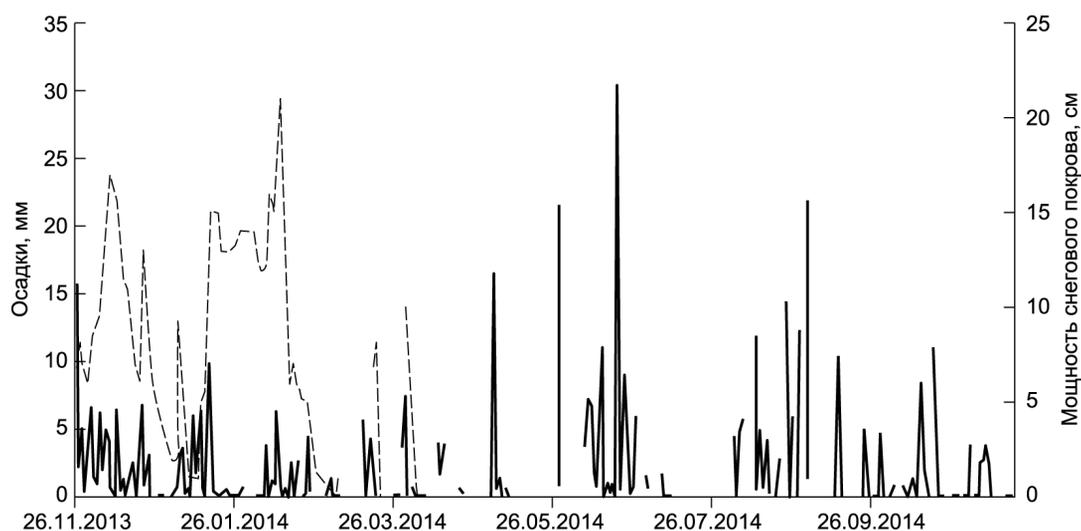


Рис. 4. Динамика выпадения осадков (сплошная линия) и мощность снежного покрова на открытом участке (пунктирная линия) за ноябрь 2013 — ноябрь 2014 гг. (данные метеообсерватории МГУ)

точных температурах воздуха (12°—13°). При максимальных летних температурах эмиссия снижается. Очевидно, в наиболее теплый период года на эмиссию существенное влияние оказывает другой фактор — влажность. Это обстоятельство подтверждается данными по годовой динамике осадков (рис. 4): в течение июля зафиксировано их отсутствие.

Концентрация CO₂ в почвенных горизонтах.

При анализе сезонной динамики содержания углекислого газа в почве ельника (рис. 5) отмечено, что с мая по январь профильное распределение содержания CO₂ относительно стабильное: минимальные значения его концентрации (1600—3000 ppm) наблюдаются в верхнем 10-сантиметровом слое и постепенно увеличиваются с глубиной. На глубине 60 см она в 2—4 раза выше, чем на глубине 10 см, в зависимости от сезона. В целом, до глубины 40 см концентрация CO₂ с июня по ноябрь колеблется стабильно — не более чем в пределах 1000 ppm. На глубине 60 см она существенно возрастает с начала июня по конец августа (с 7 до 15 тыс. ppm). Из общей стабильной картины явно выделяются три месяца: февраль, март, апрель. В это время происходит резкий всплеск содержания CO₂ на всех глубинах за исключением 60 см. Его концентрация на глубине 10 см увеличилась в 4—5 раз, 20 см — в 2—3 раза, 40 см — максимально, от 2 до 6 раз (принимая значения в газовой фазе примерно 20 тыс. ppm, т.е. 2% по объему). Мы не обнаружили корреляции между резкими всплесками концентрации углекислого газа в профиле почвы и температурой как воздуха, так и почвы на всех глубинах. В период максимальных концентраций почва на глубине 10 см имела слабо отрицательные температуры, т.е. была еще в замёрзшем состоянии, а на глубинах 20 и 40 см она была стабильна: от 0,5° до 1°. При столь низкой и стабильной температуре трудно предположить

какой-либо всплеск микробиологической активности. По-видимому, резкие всплески концентрации углекислого газа в профиле почвы совпадают с активизацией корневого дыхания, т.е. с началом вегетации древесной растительности, которая связана не с повышением температуры воздуха, а с пороговыми величинами продолжительности светового дня. Кроме того, это также связано с заземлением газа в профиле почвы в период, когда верхний 10-сантиметровый слой еще находился в замёрзшем состоянии. Это подтверждается нашими данными, по которым пиковые значения концентрации CO₂ в профиле почвы приходятся на период с минимальными значениями эмиссии с поверхности. После оттаивания почвы, с начала апреля, наблюдается активная разгрузка CO₂, сопровождающаяся резким ростом эмиссии и падением концентрации газа в профиле. Этот период длится до середины мая. Всплесков пиковых значений эмиссии мы не наблюдали, хотя в это время измерения проводились не реже одного раза в неделю; в период активного снеготаяния чаще — раз в три дня.

В почве сосняка, по сравнению с ельником, концентрация CO₂ на всех глубинах выше в 1,5—2 раза. Профильное распределение концентрации схоже, за исключением глубины 20 см, где она несколько ниже, чем на глубине 10 см. Возможно, на это влияет неоднородность сложения верхних горизонтов, отмеченная при описании почв. Сезонная динамика профильной концентрации CO₂ в сосняке схожа с таковой для ельника. Наблюдается ее резкое увеличение на всех глубинах (включая 60 см) в феврале—апреле с постепенной разгрузкой в течение последнего месяца.

В годовом цикле выявлена корреляция между концентрацией CO₂ и температурой на глубине 60 см ($R^2 = 0,5$). На других глубинах она отсутствует.

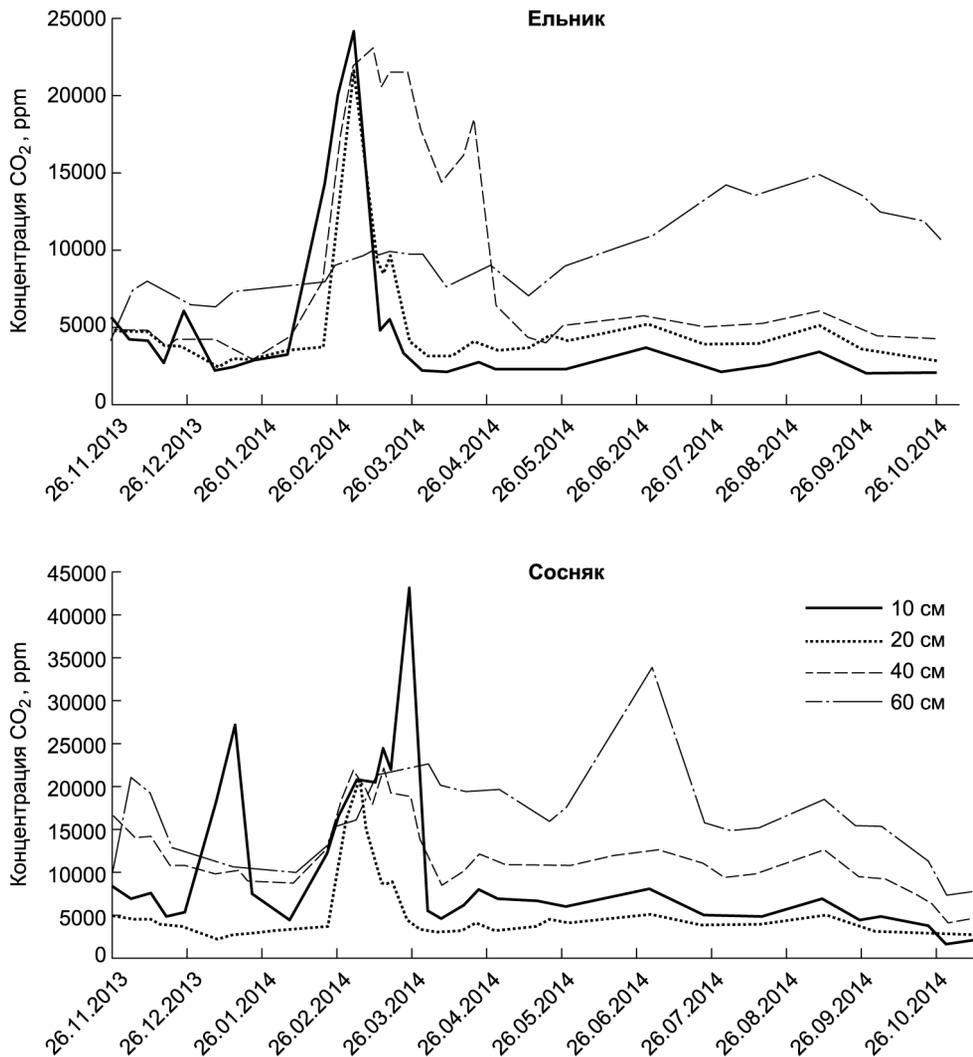


Рис. 5. Сезонная динамика содержания CO₂ в профилях почвы ельника и сосняка на разных глубинах

Минимальное выделение газа с поверхности почвы происходит отнюдь не в самый холодный период, а в конце зимы. По нашему мнению, оно связано исключительно с физическим защемлением газа при образовании ледяной корки на по-

верхности почвы в момент, когда начинаются кратковременные оттепели с небольшим подтаиванием снега. Это также подтверждается нашими наблюдениями по эмиссии CO₂ в зимний период 2012/13 г. в ельнике (рис. 6).

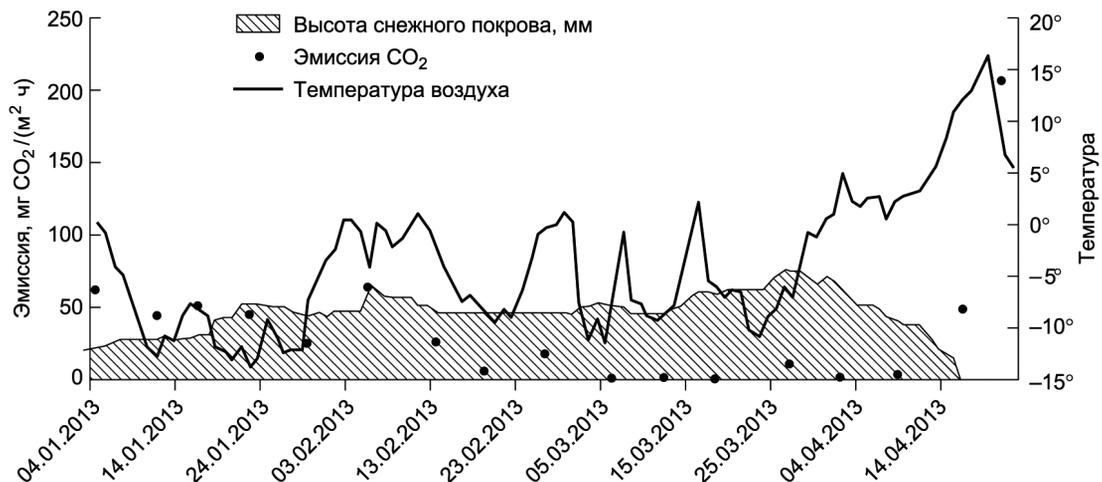


Рис. 6. Эмиссия CO₂ с поверхности почвы, температура воздуха, мощность снежного покрова в ельнике в зимний период 2012/13 г.

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о высокой биологической активности почв, свойственной скорее таковым широколиственным лесам [5, 11, 16]. Очевидно, это связано прежде всего с особенностями строения и свойствами почв: высокой гумусированностью, слабощелочной реакцией среды (по вскипанию), хорошей оструктуренностью. Различия в продукции CO_2 почвами ельника и сосняка (в сосняке она в 1,5–2 раза выше), которые регистрировались в течение всего года как по данным эмиссии, так и по содержанию CO_2 в почвенном воздухе, обусловлены не разным температурным режимом почв (разница незначительна) и не характером растительных сообществ. Основная причина заключается в строении почвенного профиля и, вероятно, в составе органического вещества. Наличие в почве сосняка мощного, хорошо оструктуренного, рыхлого органо-минерального урбикового (культурного) горизонта обеспечивает интенсивную круглогодичную внутрипочвенную продукцию углекислого газа. Этот горизонт благоприятствует появлению нетипичной для данного типа леса нитрофильной растительности (например, крапивы двудомной), обладающей значительной надземной и подземной биомассой. Формируя густой напочвенный покров, это растение, безусловно, вносит вклад в повышение продукции CO_2 в вегетационный период за счет корневого дыхания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатырев Л.Г., Демин В.В., Матышак Г.В., Сапожникова В.А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4.
2. Демидов А.С., Потапова С.А. Решение стратегических задач ботанических садов России в области сохранения биоразнообразия растений // Биол. пробл. криолитозоны: Мат-лы Всерос. конф., посвящ. 60-летию со дня образования Ин-та биол. пробл. криолитозоны СО РАН (30 июля—5 августа 2012 г. Якутск). Якутск, 2012.
3. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М., 1972.
4. Классификация и диагностика почв России / Сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск, 2004.
5. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск, 2009.
6. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5.
7. Прокофьева Т.В., Розанова М.С. Опыт морфологической диагностики почв Ботанического сада МГУ на Ленинских горах // Тез. докл. междунар. конф. «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред». М., 2013.
8. Раппопорт А.В. Ботанический сад МГУ — модельная площадка для экологического контроля окружающей среды // Там же.
9. Раппопорт А.В., Лысак Л.В., Марфенина О.Е. и др. Актуальность проведения почвенно-экологических исследований в ботанических садах (на примере Москвы и Санкт-Петербурга) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2013. Т. 118, вып. 5.
10. Раппопорт А.В., Строганова М.Н. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов и факторы их устойчивости // Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. М., 2004.
11. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М., 2005.
12. Строганова М.Н., Раппопорт А.В. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов южной тайги // Почвоведение. 2005. № 9.
13. Chen Y., Day S.D., Shrestha R.K. et al. Influence of urban land development and soil rehabilitation on soil — atmosphere greenhouse gas fluxes // Geoderma. 2014. Vol. 226—227. P. 348—353.
14. Christen A. Atmospheric measurement techniques to quantify greenhouse gas emissions from cities // Urban Climate. 2014. Vol. 10, part 2. P. 241—260.
15. Crawford B., Christen A. Spatial variability of carbon dioxide in the urban canopy layer and implications for flux measurements // Atmosph. Environ. 2014. Vol. 98. P. 308—322.

16. Fekete I., Kotroczy Z., Varga C. Alterations in forest detritus inputs influence soil carbon concentration and soil respiration in a Central-European deciduous forest // Soil Biol. Biochem. 2014. Vol. 74. P. 106—114.
17. Gill S.E., Handley J.F., Ennos A.R., Pauleit S. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure // Built Environ. 2007. Vol. 33 (1). P. 115—133.
18. Kordowski K., Kuttler W. Carbon dioxide fluxes over an urban park area // Atmosph. Environ. 2010. Vol. 44. P. 2722—2730.
19. Lorenz K., Lal R. Biogeochemical C and N cycles in urban soils // Environ. Intern. 2009. Vol. 35. P. 1—8.
20. Lunardini V.J. Theory of *n*-factors and correlation of data // Proc. 3rd Intern. Conf. on Permafrost, Edmonton, Alberta, July 10—13, 1978. Ottawa, 1978. P. 40—46.
21. Munoz-Vallés S., Cambrollé J., Figueroa-Luque E. et al. An approach to the evaluation and management of natural carbon sinks: From plant species to urban green systems // Urban Forestry and Urban Greening. 2013. Vol. 12. P. 450—453.
22. Nowak D.J., Greenfield E.J., Hoehn R.E., La-point E. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States // Environ. Pollut. 2013. Vol. 178. P. 229—236.
23. Riveros-Iregui D.A., McGlynn B.L., Epstein H.E., Welsh D.L. Interpretation and evaluation of combined measurement techniques for soil CO₂ efflux: Discrete surface chambers and continuous soil CO₂ concentration probes // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. G04027, doi:10.1029.
24. Sutter T. de, Sauer T., Parkin T. Porous tubing for use in monitoring soil CO₂ concentrations // Soil Biol. Biochem. 2006. Vol. 38 (9). P. 2676—2681.
25. Vasenev V.I., Stoorvogel J.J., Vasenev I.I. Urban soil organic carbon and its spatial heterogeneity in comparison with natural and agricultural areas in the Moscow region // Catena. 2013. Vol. 107. P. 96—102.
26. Weissert L.F., Salmond J.A., Schwendenmann L.A. Review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO₂ emissions // Urban Climate. 2014. Vol. 8. P. 100—125.
27. Wilby R.L., Perry G.L.W. Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK // Progress in Phys. Geogr. 2006. Vol. 30, N 1. P. 73—98.

Поступила в редакцию
06.05.2015

SEASONAL DYNAMICS OF SOIL CO₂ PRODUCTION IN ARBORETUM OF MSU BOTANICAL GARDEN

O.Yu. Goncharova, O.V. Semeniuk, G.V. Matyshak, A.A. Bobrik

Annual dynamic of carbon dioxide production (emission and profile concentration) by soils of MSU Botanical Garden Arboretum planted with *Picea obovata* and *Pinus sylvestris* has been studied. High biological activity of the studied soils is caused by high organic matter content, slightly alkaline reaction, good structure and texture. Differences in soil CO₂ production by spruce and pine forest soils (in the pine forest 1,5—2 times higher) influenced by different the structure of the soil profiles, but not temperature regimes. Seasonal dynamics of CO₂ production are the same for both soils and associated with seasonal changes in climatic parameters. In the cold season there is a noticeable production of carbon dioxide by soils.

Key words: soil temperature regime, CO₂ efflux, soil CO₂ concentration, Botanic Garden, anthropogenic soil.

Сведения об авторах

Гончарова Ольга Юрьевна, канд. биол. наук, науч. сотр. каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495) 939-27-40; *e-mail*: goncholgaj@gmail.com. **Семенюк Ольга Вячеславовна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495) 939-39-80; *e-mail*: olgatour@rambler.ru. **Матышак Георгий Валерьевич**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. Тел.: 8(499) 939-39-80; *e-mail*: matyshak@gmail.com. **Бобрик Анна Александровна**, аспирант каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. Тел.: 8(499) 939-27-40; *e-mail*: ann-bobrik@yandex.ru.