

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ**

На правах рукописи

Лебедь-Шарлевич Яна Ивановна

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ НА ТЕХНОГЕННЫХ
ГРУНТАХ (НА ПРИМЕРЕ г. МОСКВЫ)**

Специальность: 03.02.08 – экология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук
Можарова Надежда Васильевна

Москва - 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Современное состояние проблемы. Литературный обзор	9
1.1. Источники и стоки парниковых газов.....	9
1.2. Парниковые газы в атмосферном воздухе городов	14
1.3. Газовая функция почв.....	18
1.3.1. Образование и поглощение углекислого газа почвами	19
1.3.2. Образование и поглощение метана	21
1.4. Образование, поглощение и выделение CO ₂ и CH ₄ городскими почвами и грунтами	36
1.4.1. Формирование толщ техногенных и техногенно-рекрементогенных отложений.....	37
1.4.2. Образование парниковых газов в техногенно-рекрементогенных грунтах погребенных свалок.....	40
1.4.3. Газовая функция городских почв	42
1.5. Применение почвенных конструкций для снижения выбросов парниковых газов	46
Глава 2. Объекты и методы исследования	51
2.1. Характеристика объектов исследования	51
2.2. Методы исследования.....	56
2.3. Модельный эксперимент	61
Глава 3. Характеристика участков исследования	67
3.1. Климатические условия.....	67
3.2. Растительность	68
3.3. Геоморфология и геологическое строение.....	70
3.4. Почвообразующие породы.....	74
3.5. Почвенный покров	75
Глава 4. Результаты и обсуждение	88
4.1. Оценка газогеохимического состояния и экологических функций почв и техногенных поверхностных образований.....	88
4.2. Газогеохимическое состояние и экологические функции почв на маломощных неподтопляемых техногенных грунтах.....	98
4.3. Газогеохимическое состояние и экологические функции почв и ТПО на техногенных грунтах, подстилаемых техногенно-рекрементогенными отложениями погребенных свалок.....	105

4.3.1. Особенности газогеохимического состояния и экологических функций почв и ТПО на запечатанных, подтопляемых техногенных грунтах, подстилаемых техногенно-рекрементогенными отложениями	106
4.3.2. Особенности газогеохимического состояния и экологических функций почв и ТПО на мощных техногенно-рекрементогенных отложениях	110
4.4. Газогеохимическое состояние и экологические функции почв и ТПО на техногенных грунтах засыпанных пойм, локально подстилаемых болотными отложениями	119
4.4.1. Особенности газогеохимического состояния почв и ТПО	119
4.4.2. Сезонная динамика активности бактериального окисления метана и эмиссии парниковых газов из ТПО на техногенных грунтах засыпанных пойм	126
4.4.3. Пространственный прогноз выброса парниковых газов из почв и ТПО на техногенных грунтах засыпанных пойм	130
4.5. Общие закономерности формирования биогеохимических барьеров в почвах и ТПО на техногенных грунтах	135
4.6. Интенсивность выброса парниковых газов	138
4.7. Возможности применения искусственных почвенных конструкций для поглощения метана при высоком его токе	141
Выводы	148
Список литературы	150
Приложения	179

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. В настоящее время большое внимание уделяется проблеме увеличения в атмосфере концентрации антропогенных парниковых газов, среди которых углекислый газ и метан занимают первое место. Известно, что городские территории являются важным источником парниковых газов – на их долю приходится от 30 до 80% всех антропогенных выбросов [Satterthwaite, 2008; Kennedy et al., 2009; Cities and Climate Change, 2011; Folberth et al., 2015].

По подсчетам, с середины XVIII века по настоящее время концентрация CO₂ в атмосфере увеличилась на 40% (с 278 до 395 ppm), CH₄ – на 150% (с 0,714 до 1,813 ppm) [Второй оценочный доклад..., 2014; IPCC, 2013]. Такой рост связан с выбросом газов объектами энергетики, промышленности, захоронения и переработки отходов, транспортом, а также изменениями в землепользовании. Эмиссия парниковых газов из этих источников оценивается в специализированных кадастрах антропогенных выбросов [Национальный доклад..., 2006].

Вместе с тем, в городах происходит существенное преобразование всех сред под воздействием деятельности человека, в том числе почв и грунтов, что оказывает влияние на образование и выделение из них парниковых газов. В пониженных элементах рельефа часто формируются несанкционированные свалочные тела. При проведении строительных и планировочных работ используются техногенные грунты, содержащие бытовой и строительный мусор [Геоэкология Москвы..., 2006; Инженерная геология..., 2011]. Разложение органического вещества в таких грунтах приводит к образованию метана и углекислого газа. Накопление названных газов в грунтах может вызывать пожаровзрывоопасные ситуации на сооружаемых объектах, а их выделение в атмосферу негативно влиять на здоровье людей и экологическую обстановку.

Под влиянием парниковых газов, мигрирующих из газогенерирующих слоев, происходит изменение газогеохимического состояния почв: увеличиваются содержание свободного метана и углекислого газа в почвенном воздухе, их эмиссия в атмосферу и, как результат, концентрация в приземном слое воздуха. Повышенные концентрации метана в почвах способствуют развитию метанотрофных микроорганизмов и, следовательно, активизации бактериального окисления CH_4 , которое является регуляционной экологической функцией почвы, предотвращающей эмиссию метана в атмосферу [Добровольский, Никитин, 2012].

Газогеохимическое состояние городских почв и грунтов остается недостаточно изученным. Предпринимались попытки классификации техногенных грунтов по их способности продуцировать метан и углекислый газ [Викторова, 2007], оценки пожаровзрывоопасности грунтов несанкционированных погребенных свалок [Балакин, Труфманова, 2000], исследовалась работа биогеохимического фильтра над погребенными свалочными телами [Иванов, 2009]. Однако роль городских почв в процессах образования, накопления, поглощения и эмиссии парниковых газов по-прежнему выявлена не в полной мере. Также недостаточно изучены факторы, определяющие газогеохимическое состояние городских почв. Не установлен выброс парниковых газов из почв на техногенных грунтах. В связи с этим очевидна необходимость исследования газовой составляющей городских почв и оценки их экологических функций.

Цель работы - оценка и прогноз газогеохимического состояния и экологических функций городских почв на техногенных отложениях, подстилаемых газогенерирующими грунтами и природными отложениями.

Задачи исследования:

1. Разработать принципы оценки газогеохимического состояния почв и техногенных поверхностных образований (ТПО) на основе анализа причинно-следственных связей процессов образования, поглощения и эмиссии метана и углекислого газа.

2. Оценить газогеохимическое состояние и экологические функции почв и ТПО в условиях различной газогенерации, мощности, подтопляемости и запечатанности грунтов.
3. Установить интенсивность выбросов парниковых газов в атмосферу с поверхности почв и ТПО на техногенных отложениях. Выявить общий выброс парниковых газов, используя принципы пространственного прогноза с помощью ГИС-технологий.
4. Установить влияние технологий воспроизводства городских почв и применения искусственных почвенных конструкций на выбросы парниковых газов.

Научная новизна. Впервые проведена оценка газогеохимического состояния городских почв и техногенных поверхностных образований по разработанным шкалам. Выявлены особенности образования, поглощения и эмиссии парниковых газов почвами и ТПО в условиях различной газогенерации, мощности, подтопляемости и запечатанности грунтов. Установлена система биогеохимических барьеров, связанных с окислением автохтонного и аллохтонного метана в почвах. Определены интенсивности потоков парниковых газов из почв на техногенных грунтах в атмосферу. Установлено влияние разработанных искусственных почвенных конструкций и существующих технологий воспроизводства городских почв на выбросы парниковых газов.

Теоретическая и практическая значимость. Оценка выбросов углекислого газа и метана с помощью ГИС-технологий позволяет установить вклад городских почв и ТПО в общий поток парниковых газов в атмосферу, внести коррективы в существующие кадастры антропогенных выбросов, более точно определить общий поток с территории г. Москвы и служит более полному пониманию роли городских почв в эмиссии парниковых газов.

Полученные данные и установленные зависимости газогеохимического состояния городских почв от свойств отложений, на которых они формируются, могут быть использованы при обосновании инженерной

подготовки территории под строительство, проведении научных и производственно-экологических изысканий на объектах с техногенными и природными газогенерирующими грунтами, а также при разработке рекомендаций по рекультивации погребенных несанкционированных свалок и благоустройству территорий.

Положения, выносимые на защиту:

1. В городских почвах, сформированных на различных отложениях, возникают газовые аномалии со средним и высоким содержанием углекислого газа и низким содержанием метана, а также биогеохимические барьеры различной емкости, связанные с автохтонным образованием парниковых газов в профиле почв и их аллохтонным притоком из нижележащих слоев.
2. Основными факторами, влияющими на газогеохимическое состояние почв и ТПО, являются мощность, подтопляемость и интенсивность газогенерации техногенных грунтов, на которых они сформированы, а также запечатанность территорий.
3. Технологии воспроизводства почвенных ресурсов в городской среде с применением агроторфяных смесей увеличивают выбросы парниковых газов в атмосферу. Разработанные покрывающие почвенные конструкции способствуют утилизации метана в безморозный период.

Личный вклад автора. Автору принадлежит подбор и обобщение литературного материала, участие в организации и проведении полевых работ и модельного эксперимента, лабораторный анализ отобранных образцов почв и проб воздуха, статистическая обработка массива экспериментальных данных, обобщение и интерпретация полученных результатов, представление исследования на научных конференциях, подготовка публикаций и настоящей рукописи.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: XIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов – 2012»

(Москва, 2012 г.); 4th International Congress EUROSIL 2012 (г. Бари, Италия, 2012 г.); 7th International Conference of the Working Group on “Soils of Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas (SUITMA7)” (г. Торунь, Польша, 2013 г.); General Assembly 2014 of the European Geosciences Union (г. Вена, Австрия, 2014 г.); 9th International Soil Science Congress on “The Soul of Soil and Civilization” (г. Сиде, Турция, 2014 г.), Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана)» (г. Москва, 2016 г.), а также на заседаниях кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, 2012-2016 гг.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 2 в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит введения, 4 глав (обзора литературы, описания объектов и методов исследования, характеристики исследуемых территорий, изложения результатов и их обсуждения), выводов, списка литературы и приложений. Список литературы включает 285 источников, из которых 153 на иностранном языке. Материалы диссертации изложены на 176 страницах, содержат 34 рисунка и 15 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю доценту кафедры географии почв, д.б.н. Можаровой Надежде Васильевне за неоценимую помощь при подготовке данной работы. Автор благодарен к.б.н. Кулачковой С.А. и к.б.н. Николаевой О.В. за помощь в проведении исследований, подготовке публикаций, за профессиональную и дружескую поддержку. Автор выражает благодарность аспирантам и студентам кафедры географии почв Леонову В.Д., Николаевой А.М., Машенцеву К.В., Куликовой А.А., Хуртиной А.Е. за помощь в период полевых и лабораторных работ, а также всем сотрудникам кафедры за обсуждение работы, ценные советы и консультации. Отдельную благодарность автор выражает своим родным и близким за моральную поддержку во время работы над диссертацией.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Источники и стоки парниковых газов

В последние десятилетия большое внимание уделяется проблеме увеличения в атмосфере концентрации парниковых газов, среди которых углекислый газ и метан занимают первое место. Содержание данных газов в атмосфере растет большими темпами. Глобальная концентрация углекислого газа в атмосфере с доиндустриальной эпохи по настоящее время увеличилась на 40% (с 278 до 395 ppm), метана – на 150% (с 0,715 до 1,813 ppm) [Второй оценочный доклад..., 2014; IPCC, 2013]. Поэтому в настоящее время усилия в области исследования климаторегулирующих функций экосистем направлены прежде всего на изучение углеродного цикла и потоков CO₂ и CH₄ между экосистемами и атмосферой.

Углекислый газ

Несмотря на активные исследования, оценка запасов углерода в основных резервуарах и его потоков между экосистемами и атмосферой остается неопределенной. Однако порядок величин можно считать установленным [Заварзин, Кудеяров, 2006; Букварева, 2010]. Обобщенные представления о величинах основных резервуаров углерода и его потоков в газообразной форме (CO₂) представлены на Рис. 1.

Наибольшее количество углерода заключено в литосфере в виде минеральных горных пород и ископаемого топлива ($n \times 10^7$ млрд. т). Второе место занимает Мировой океан, где в составе растворенных минеральных соединений и взвесей, а также детрита заключено более 38000 млрд. т углерода. Органическое вещество почвы занимает третью по значимости позицию (1500-2400 млрд. т С). Запасы углерода здесь в два-три раза больше чем в биомассе наземной растительности.

Общий приток углерода от суши и океана в атмосферу составляет примерно 145 и 90 млрд. т С/год, соответственно. Основные наземные потоки углерода связаны с его поглощением растительностью в ходе фотосинтеза и выделением при дыхании биоценозов (растений, почвенной биоты и других живых организмов). Дыхание почвы (55-75 млрд. т С) и растительности (45-60 млрд. т С) составляет около 30 и 24% от суммарной глобальной эмиссии CO₂, соответственно [Заварзин, Кудеяров, 2006].

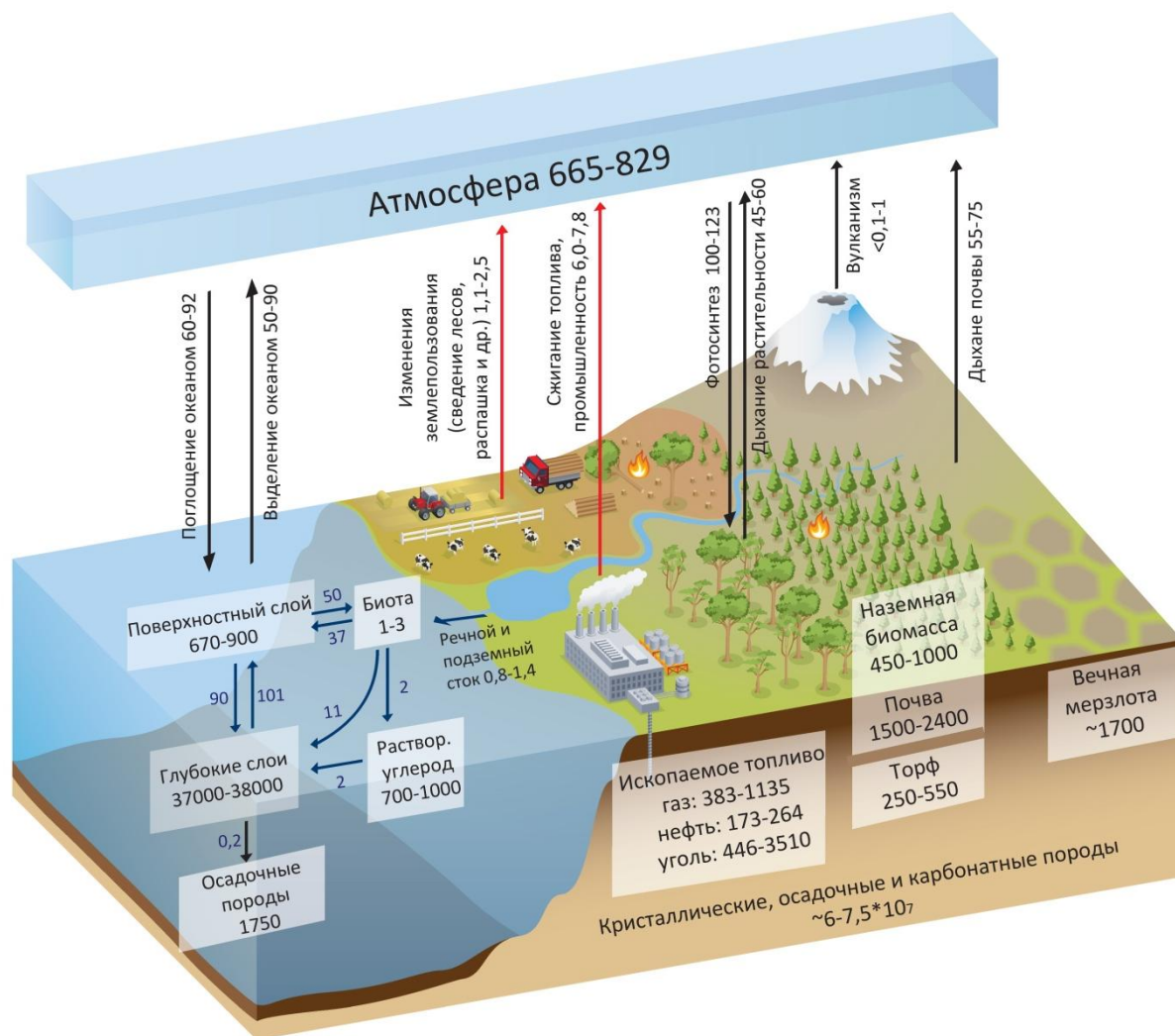


Рис. 1. Основные резервуары (млрд. т С) и потоки (млрд. т С/год) углерода (по данным [Смагин, 2005; Заварзин, Кудеяров, 2006; Букварева, 2010; Bridges, Batjes, 1996; Falkowski et al., 2000; Field, Raupach, 2003; Schlesinger, Andrews, 2003; Tarnocai et al., 2009; IPCC, 2013]).

Как видно из Рис. 1, антропогенные потоки углерода от сжигания ископаемого топлива и изменения землепользования составляют всего лишь

несколько процентов от величины природных потоков (в среднем 3-5%, большинство оценок существенно ниже 10% [Смагин, 2005; Заварзин, Кудеяров, 2006; Bridges, Batjes, 1996; Field, Raupach, 2003; IPCC, 2013]). Однако природные потоки уравновешены поглощением CO_2 в процессе фотосинтеза. Поэтому именно небольшие по мощности выбросы углекислого газа от антропогенной деятельности оказывают наибольшее воздействие на его концентрацию в атмосфере [Смагин, 2005].

Предположение о потенциальной важности антропогенного фактора для климата Земли было сделано еще в конце XIX века Сванте Аррениусом, который оценил влияние удвоенной концентрации CO_2 в атмосфере на среднюю глобальную температуру [Второй оценочный доклад..., 2014]. Позже, в начале 50-х годов XX века, Н.Е. Suess [1955] косвенно доказал рост промышленных выбросов CO_2 . По изменению отношения углерода $\text{C}^{14}/\text{C}^{12}$ в древесных кольцах он сделал вывод о том, что атмосферный углекислый газ уже со второй половины XIX в. пополняется выбросами CO_2 от сжигания ископаемого топлива.

В то же время важная роль в цикле углерода и поддержании «нормальной» концентрации CO_2 в атмосфере отводится природным экосистемам, являющимся стоком CO_2 [Букварева, 2010]. При нарушении природных экосистем или их полной замене антропогенными территориями их функции по поглощению углекислого газа ухудшаются. У промышленных зон и городов эти функции утрачиваются практически полностью. Биогеохимические циклы в городских экосистемах нарушаются в результате прямого или косвенного воздействия деятельности человека [Lorenz, Lal, 2009].

Метан

Метан является вторым по значимости парниковым газом после CO_2 . Он оказывает большее влияние на парниковый эффект, но время его жизни в атмосфере меньше. Для оценки действия на климат разных парниковых газов

используется методика сравнения их радиационного воздействия с помощью потенциала глобального потепления (ПГП). ПГП метана для временного горизонта в 20 лет в 72 раза выше, чем у CO₂, для 100 лет (временной отрезок, принятый Киотским протоколом) – в 25 раз выше, для 500 лет – в 7,6 раз выше [Forster et al., 2007].

Представления об основных источниках и стоках атмосферного метана отражены в Табл. 1. Они основаны на работах [Смагин, 2005; Bousquet et al., 2006; IPCC, 2013]. В столбце «Варьирование» приведен разброс значений с учетом данных из работ [Заварзин, Васильева, 1999; Кароль, Киселев, 2004; Оценочный доклад..., 2008; Higgins et al., 1981; Cicerone, Oremland, 1988; Hanson, Hanson, 1996; Lowe, 2006; Thauer et al., 2008; Dlugokencky et al., 2011].

Метан поступает в атмосферу из природных и антропогенных источников, расположенных в основном на суше. Вклад океана, пресноводных водоемов и гидратов метана шельфов океанов и морей в общую эмиссию CH₄ невелик и составляет около 4-9%.

В отличие от потоков CO₂, связанных в основном природными источниками, от 1/2 до 2/3 современной эмиссии метана имеет антропогенное происхождение [IPCC, 2013].

Среди природных источников главная роль в выделении метана принадлежит переувлажненным ландшафтам (болотам, торфяникам, топям, заливным землям и др.), на долю которых приходится около 35% глобальной эмиссии метана. Основными антропогенными источниками метана являются газовая, нефтяная и угольная промышленность, рисовые поля, животноводство, а также бытовые отходы, сточные воды и сжигание биомассы.

Среднее время существования метана в атмосфере сравнительно невелико и оценивается в 8-12 лет. Попадая в верхние слои, он может окисляться в процессе фотохимических реакций с ОН-радикалами, озоном и окисью углерода. В результате фотохимического стока в атмосфере теряется

Табл. 1. Основные источники и стоки атмосферного метана (млн. т $CH_4/год$).

	Смагин, 2005	Bousquet et al., 2006	IPCC, 2013	Варьирова- ние
Природные источники				
Переувлажненные территории	115±60	147±15	177-284	92-300
Термитники	20±10	23±4	2-22	10-100
Пресные воды	20±10		8-73	1-25
Океан	нет данных	19±6	нет данных	4-20
Дестабилизация метангидратов	нет данных	нет данных	2-9	5-10
Геологические процессы	нет данных	нет данных	33-75	30-100
Антропогенные источники				
Угольная, нефтяная, газовая промышленность и транспорт	110±50	110±13	85-105	50-120
Сельское хозяйство:				
ферментация жвачными	80±20	90±14	87-94	65-220
рисоводство	60±40	31±5	33-40	20-280
Сжигание биомассы	45±15	50±8	32-39	25-100
Отходы:				
мусорные свалки	30±20			20-73
сточные воды				
отходы животноводства	50±10	55±11	67-90	20-55
ВСЕГО:	<i>530</i>	<i>525</i>	<i>526-831</i>	
Стоки				
Окисление в тропосфере		448±1	467-654	
Окисление в стратосфере	470±50	37±1	16-84	375-835
Поглощение почвами	30±15	21±3	9-47	10-56
ВСЕГО:	<i>500</i>	<i>506</i>	<i>492-785</i>	
Прирост в атмосфере:	+30	+19	+34-46	

до 90% от общего объема поступающего метана. Биогенное окисление метана в почвах благодаря жизнедеятельности метанотрофных бактерий относительно невелико и составляет по разным данным 4-10% от общего стока [Adamsen, King, 1993; Conrad, 1996; Bousquet et al., 2006]. Следует отметить, что указываемые величины почвенного стока характеризуют поглощение атмосферного метана без учета потенциального окисления газа в поверхностных слоях гидроморфных ландшафтов, в результате которого часть метана, производимая в них, не выходит в атмосферу [Смагин, 2005].

Активность этого скрытого стока (так называемого «метанового биофильтра») более чем на 90% снижает эмиссию метана из болот, торфяников, рисовых почв и других переувлажненных территорий [Дедыш, Паников, 1997а].

Таким образом, основной причиной роста концентрации парниковых газов считается антропогенная деятельность. К антропогенным источникам углекислого газа относятся выбросы в процессе сжигания ископаемых видов топлива и производства цемента. Также значительный вклад вносят изменения в землепользовании, в первую очередь сведение лесов и распашка целинных земель. Наблюдаемый рост концентрации метана обусловлен главным образом утечками при добыче и транспортировке природного газа, а также сельскохозяйственной и промышленной эмиссией.

1.2. Парниковые газы в атмосферном воздухе городов

Влияние городов на биогеохимический цикл углерода и, следовательно, на глобальную концентрацию парниковых газов в атмосферном воздухе остается малоизученным [Byrne, 2007; Tratalos et al., 2007; Grimm et al., 2008]. Однако в последнее время предпринимается все больше попыток оценить вклад городских территорий в глобальный выброс парниковых газов. Так, по разным данным [Satterthwaite, 2008; Kennedy et al., 2009; Cities and Climate Change, 2011; Folberth et al., 2015], на долю городов приходится от 30-40 до 70-80% общего антропогенного выброса.

Антропогенные выбросы парниковых газов учитываются в специализированных кадастрах по методике, разработанной Международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) [2006]. Изначально учет выбросов осуществлялся только на уровне государств (данные по выбросам парниковых газов для Российской Федерации представлены в [Национальный доклад..., 2006]). Однако с 2005 года в рамках работы Партнерства крупных городов в борьбе с изменением климата C40 (The C40

Cities Climate Leadership Group) [Климатические изменения..., 2010] начала проводиться инвентаризация антропогенных выбросов парниковых газов для городов, входящих в Партнерство, в т.ч. и для Москвы. Эти кадастры полностью соответствуют методике МГЭИК и опираются на официальные статистические сведения по секторам «Энергетика», «Промышленные процессы», «Сельское хозяйство», «Землепользование, изменения в землепользовании» и «Отходы» [Климатические изменения..., 2010; Gregg et al., 2009].

Для Москвы выброс парниковых газов составляет 79,85 млн. т CO₂-экв. в год и сопоставим с выбросами других мегаполисов мира [Доклад «О состоянии...», 2015]. Структура выбросов представлена на Рис. 2. Основная часть (73,6%) приходится на генерацию тепловой и электроэнергии, связанную со сжиганием природного газа. Второе место занимают выбросы автотранспорта (21,5%).

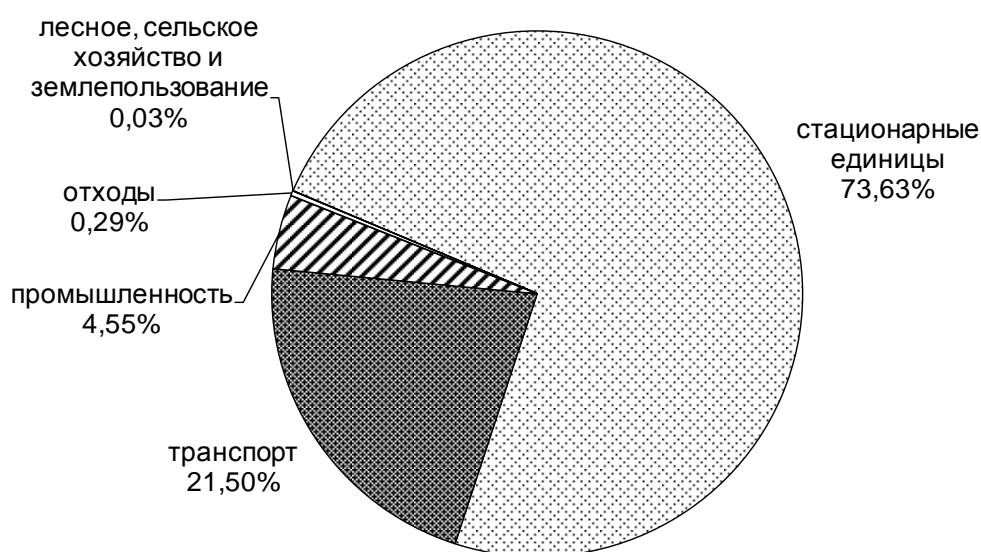


Рис. 2. Выбросы парниковых газов в г. Москве [Доклад «О состоянии...», 2015].

По сектору «Отходы» основная доля парниковых газов выделяется с полигонов ТБО, где активное разложение отходов с высоким содержанием органического вещества приводит к образованию биогаза (до 50-70% CH₄ и 30-50% CO₂) [Иванов, 1998; Вайсман и др., 2003]. Эмиссия метана с

полигонов неоднородна и может варьировать от $0,2 \pm 0,1$ до $9057,5 \pm 116$ $\text{мгСН}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ [Каллистова и др., 2006], что определяется возрастом полигона, составом отходов, интенсивностью разложения органического вещества, работой бактериального фильтра, а также условиями увлажнения и температурным режимом.

В структуре выбросов парниковых газов преобладает углекислый газ, на долю которого приходится более 90% общих выбросов. Доля метана и других соединений незначительна в силу отсутствия крупных источников указанных газов на территории города (за исключением утечек природного газа при его транспортировке и распределении потребителям, а также полигонов ТБО, расположенных на периферии города) [Доклад «О состоянии...», 2015].

Недостатком кадастров выбросов парниковых газов по методике МГЭИК является то, что они опираются на статистические данные по выделению парниковых газов из разных антропогенных источников. Такие косвенные данные приводят к неточности в расчетах выбросов, которая в глобальном масштабе составляет около 5% [Marland, 2008], а на региональном уровне становится еще больше [Miller et al., 2012].

Кроме того, методика МГЭИК игнорирует вклад биогенного фактора (дыхания растительности, эмиссии газов из городских почв и грунтов) в формирование атмосферной концентрации парниковых газов. Считается, что городской цикл углерода определяется исключительно выбросами от сжигания ископаемого топлива [Kennedy et al., 2010; Nutyra et al., 2014], поэтому расчеты проводятся без сопоставления антропогенных и биогенных источников парниковых газов [Decina et al., 2016].

Однако существует много работ, посвященных оценке влияния дыхания растительности и почвенных микроорганизмов на концентрацию CO_2 в воздухе городов. Так, еще в 1979 г. J.E. McRae и T.E. Graedel [1979] предложили разделять выделение углекислого газа от сжигания ископаемого топлива и дыхания растительности. В работах Takahashi с соавт. [2001; 2002]

показано, что эмиссия углекислого газа из почв вносит существенный вклад в содержание данного газа в атмосфере городов. Pataki с соавт. [2003] выявили большой вклад в атмосферную концентрацию CO_2 ночного дыхания растительности и почв в теплый период года. Miller с соавт. [2012] с использованием изотопных методов обнаружили постоянное присутствие в нижнем слое тропосферы над городами CO_2 биогенного происхождения и предложили необходимость пересмотра вклада различных источников в увеличение концентрации CO_2 в городском воздухе. Decina с соавт. [2016] установили, что в селитебных районах Бостона вклад дыхания почв в общий поток углекислого газа составляет 72% от выброса CO_2 автотранспортом.

Сезонная динамика концентрации углекислого газа в воздухе городов широко изучена [Demény, Haszpra, 2002; Kuc et al., 2003; Pataki et al., 2003; Górká et al., 2011]. В течение холодного периода содержание CO_2 определяется антропогенными источниками (сжиганием ископаемого топлива в ходе отопительного сезона) и частично выделением из почв. Напротив, в течение теплого периода главным источником углекислого газа является дыхание почв. Также летом происходит снижение концентрации CO_2 благодаря фотосинтезу [Takahashi et al., 2001, 2002; Demény, Haszpra, 2002; Górká, Lewicka-Szczebak, 2013].

Несмотря на очевидность биогенного потока углекислого газа в городской среде, остается неизвестной его величина относительно антропогенных выбросов. Скорость эмиссии CO_2 из почв, главного компонента биогенного потока, мало изучена, а опубликованные исследования с его измерениями ограничены пространственными или временными рамками, что препятствует экстраполяции и сравнению с антропогенными выбросами [Decina et al., 2016].

Если источники углекислого газа изучены достаточно хорошо, то происхождение метана в воздухе городов связано с большими неопределенностями [Kuc et al., 2003]. Однако в ряде работ показано, что увеличение концентрации CH_4 в воздухе крупных европейских и

североамериканских городов связано преимущественно с утечками из трубопроводов [Kuc et al., 2003; Zimnoch et al., 2010]. В некоторых случаях содержание метана в приземной атмосфере в результате утечек превышает фоновые значения в 14 раз [Phillips et al., 2013].

Таким образом, основные источники парниковых газов в городской среде связаны с выбросами от объектов энергетики, промышленности, захоронения и утилизации отходов, транспорта, а также изменения в землепользовании. Однако показано, что большую роль в формировании концентрации углекислого газа в воздухе городов играет биогенный фактор – дыхание почв и растительности. Увеличение содержания метана в воздухе может быть вызвано утечками из трубопроводов.

1.3. Газовая функция почв

Почвенный покров, располагаясь на контакте атмосферы и литосферы, выполняет ведущую роль в глобальном газообмене на континентах. Почва одновременно является источником (генератором) и стоком (поглотителем) различных газов, выполняя этим одну из важнейших экологических функций на планете [Добровольский, Никитин, 1986; Смагин, 2005]. Планетарная газовая функция почв заключается в поддержании биосферного круговорота газов и состоит из поглощения газов, мигрирующих из нижележащих слоев литосферы; образования газообразных веществ и их эмиссии в прилегающие геосферы (атмосферу и нижележащие слои литосферы); поглощения газообразных веществ из атмосферы [Минько, 1988]. Таким образом, почва выступает как геомембрана - полупроницаемая оболочка, регулирующая взаимодействия внутренних и внешних оболочек Земли. Она избирательно отражает, поглощает либо пропускает и трансформирует энергетические и вещественные потоки между внутренними и внешними оболочками Земли [Розанов, 1988].

Участие почвы в преобразовании состава атмосферы и регулировании ее газового режима определяется, прежде всего, деятельностью почвенных микроорганизмов, в результате которой в воздушную оболочку, с одной стороны, поступают различные газообразные продукты, а с другой — поглощаются те или иные ее компоненты [Добровольский, Никитин, 1986].

Выделение парниковых газов из почв определяется соотношением процессов их образования и поглощения. Образование газов происходит в процессе минерализации органического вещества почв микроорганизмами. Энергия С-Н-связей и химические элементы, содержащиеся в нем, служат микроорганизмам источником энергии и питания, обеспечивая их рост и жизнедеятельность [Заварзин, Колотилова, 2001]. Основными продуктами минерализации органического вещества в аэробных условиях являются углекислый газ, оксиды азота, серы и другие соединения. В анаэробной обстановке образуются метан, сероводород, аммиак, ацетат, муравьиная, уксусная и другие вещества [Аммосова и др., 1985].

Поглощение газов в почвах осуществляется за счет действия абиотических и биотических процессов. К абиотическим относится сорбция газов на поверхности почвенных агрегатов. Термин **сорбция** объединяет в себе *адсорбцию* – концентрирование веществ на поверхности раздела фаз – и *абсорбцию* – поглощение газа или пара всем объемом твердого тела [Алексеевко, 2000]. Различают *физическую (молекулярную) адсорбцию*, осуществляемую только силами Ван-дер-Ваальса и водородными связями, и *хемосорбцию*, возникающую в результате химической реакции между взаимодействующими компонентами [Смагин, 2005].

1.3.1. Образование и поглощение углекислого газа почвами

Образование углекислого газа. Продуцирование углекислого газа в почве является одной из наиболее важных экологических функций почв. Происходящая в ней минерализация органических веществ обеспечивает

растения углекислым газом, необходимым для фотосинтеза [Кудеяров и др., 2007; Добровольский, Никитин, 2012].

Образование CO_2 в почве - интегральный показатель, включающий в себя дыхание гетеротрофных микроорганизмов (бактерий, грибов, актиномицетов), простейших и почвенных животных. Вклад почвенной макрофауны в общую продукцию углекислого газа составляет несколько процентов [Кобак, 1988]. Основными автотрофными продуцентами CO_2 являются растения, выделяющие его в процессе корневого дыхания. Как следствие, углекислый газ образуется в почве в результате: (1) дыхания корней растений; (2) дыхания ризосферных микроорганизмов, разлагающих прижизненные корневые выделения; (3) микробного разложения мертвых растительных остатков; (4) микробного разложения органического вещества в ризосфере (ризосферный прайминг-эффект); (5) микробного разложения почвенного органического вещества (базальное дыхание) [Kuzyakov, 2006].

Соотношение выделения CO_2 за счет дыхания микроорганизмов и корней растений составляет $2/3$ и $1/3$, соответственно [Заварзин, 2004]. Однако в зависимости от вида вегетирующих растений и сезона вклад корневого и ризосферного дыхания в общее дыхание почвы может варьировать от 10 до 90%, в среднем составляя около 46% в лесных экосистемах и 60% в других фитоценозах [Hanson et al., 2000]. В ряде случаев вклад дыхания подземных органов растений достигает 65-70% [Наумов, 2004; Кузяков, Ларионова, 2006]. По другим оценкам, средний годовой вклад корней в эмиссию диоксида углерода из почвы составлял 33%, варьируя от 10 до 58% в зависимости от продолжительности вегетационного периода, вида культур, типа почвы, гидротермических условий и других факторов, а на долю разложения мертвых корней может приходиться около $1/10$ величины эмиссии CO_2 из почвы [Ларионова и др., 2003].

Чем выше эффективность усвоения микроорганизмами углерода, тем меньше его расходуется на дыхание и меньше теряется из почвы в виде CO_2 [Six et al., 2006]. Для почвенного сообщества установлены разные величины

эффективности микробного роста: от 0,14 до 0,77 или в среднем 0,53 г С микробной биомассы/г метаболизированного углерода. Считается, что грибы отличаются более высокой эффективностью утилизации углерода субстрата, чем бактерии. Таким образом, на дыхание может расходоваться от 23 до 86% углерода субстрата [Задорожный и др., 2010].

Поглощение углекислого газа. Образующийся в процессе разложения органического вещества углекислый газ выделяется в атмосферу, однако некоторая его часть связывается в почве за счет абиотических и биотических процессов. Основными абиотическими механизмами внутрипочвенной фиксации CO_2 являются сорбция, заземление в микропорах, растворение, образование карбонатов [Хегай и др., 1980; Рысков и др., 1993; Смагин, 2005]; биотическое поглощение CO_2 связано с жизнедеятельностью микроорганизмов. Способностью использовать углекислый газ обладает широкий спектр анаэробных и аэробных гетеротрофных микроорганизмов, в т.ч. бактерии и грибы [Hartman et al., 1972; Miltner et al., 2005; Šantrůčková et al., 2005]. Например, аэробные виды *Rhodococcus* и *Xanthobacter* способны накапливать биомассу, утилизируя углекислый газ [Ensign et al., 1998; Clark, Ensign, 1999]. В микробной биомассе обнаруживается от 0,2-4,6 [Šantrůčková et al., 2005] до 13% [Perez, Matin, 1982] углерода, утилизированного из CO_2 . Активность гетеротрофной фиксации углекислого газа почвами варьирует в зависимости от времени года, свойств почв и типа землепользования. В одних исследованиях она изменялась от $0,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ зимой до $4,8 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ летом, положительно коррелируя с температурой почвы и активностью образования CO_2 [Shimmel, 1987]. В других исследованиях поглощение углекислоты микроорганизмами зависело от pH почвы и составляло $2,8 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ при pH 4,8 и $36,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ – при pH 7,5 [Šantrůčková et al., 2005].

1.3.2. Образование и поглощение метана

Почвенный покров выступает в роли биогенного источника и стока метана одновременно. Присутствие метана в почвах может быть связано с

двумя типами источников: автохтонным – за счет органического вещества самих почв и аллохтонным – в результате миграции газов из подстилающих пород [Пиковский, 1993]. Автохтонным источником метана является деятельность метанобразующих бактерий, развивающихся в анаэробных условиях. Поглощение метана связано с жизнедеятельностью сообщества метанотрофных микроорганизмов, утилизирующих CH_4 в аэробных условиях.

Анаэробные метанобразующие и аэробные метанооксиляющие бактерии не могут развиваться совместно, но они объединены в цикл транспортным процессом, который осуществляется за счет переноса метана из анаэробной зоны, где он образуется, в аэробную либо диффузным потоком, либо пузырьками. Метаногены и метанотрофы, таким образом, образуют взаимосвязанную систему биологического круговорота метана, получившую название цикла Зенгена [Заварзин, Васильева, 1999]. Выход метана в атмосферу обусловлен дисбалансом между метаногенным и метанотрофным сообществами.

Образование метана. Метаногенез является уникальным процессом синтеза метана из углекислого газа или органических соединений с низкой молекулярной массой в анаэробных условиях, который осуществляется специализированной группой метанобразующих бактерий [Беляев, 1976].

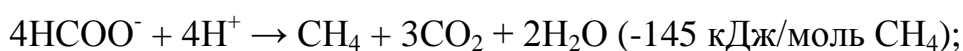
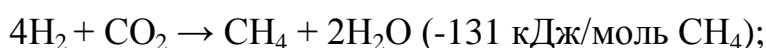
Общая характеристика группы. Метанобразующие бактерии – морфологически разнообразная группа архей, объединяемая двумя общими для всех ее представителей признаками: строгим анаэробизмом и способностью образовывать метан [Гусев, Минеева, 1985]. Впервые как специфическая группа микроорганизмов они были описаны в 1906 году голландским ученым Зенгеном, именем которого в настоящее время называют цикл метана [Заварзин, Васильева, 1999].

Все метаногены входят в состав 6 классов: *Methanomicrobiales*, *Methanocellales*, *Methanosarcinales*, *Methanobacteriales*, *Methanococcales* и

Methanopyrales [Angel et al., 2012]. На сегодняшний день выделено более 70 видов метаногенов, которые включены в 35 родов и 12 семейств [Nazaries et al., 2013].

Морфологически группа метаногенов чрезвычайно разнообразна. Среди них имеются округлые, ланцетовидные, палочковидные, спиральные и другие формы. У некоторых видов обнаружена тенденция образовывать нити или пакеты. Большинство метанообразующих бактерий неподвижны, но есть виды, имеющие жгутики [Кондратьева, 1983; Гусев, Минеева, 1985; Воробьева, 2007].

Субстраты для роста и метаногенеза. В качестве источников углерода метанообразующие бактерии используют узкий круг соединений: смесь H_2+CO_2 (в соотношении 80:20), формиат, ацетат, метиламины, CO, метилированные соединения серы, первичные и вторичные спирты [Воробьева, 2007; Задорожний и др., 2010]:



На этой основе различают несколько трофических групп метаногенных бактерий: 1) *водородотрофные (водородные)* метаногены восстанавливают CO_2 до метана, используя H_2 в качестве донора электронов; 2) *метилотрофные* метаногены, субстратами для которых являются метилсодержащие соединения (метанол, а также моно-, ди-, триметиламины, метилсульфиды); 3) *ацетокластические* метаногены, утилизирующие ацетат [Воробьева, 2007; Woone et al., 1993; Dubey, 2005].

Использование разных субстратов приводит к разному приросту биомассы и энергии у бактерий. При потреблении смеси H_2+CO_2 около 90% использованного CO_2 восстанавливается до CH_4 и только 10% или меньше включается в вещества клеток [Гусев, Минеева, 1985]. Несмотря на то, что

ацетокластическая группа метаногенов самая малочисленная и ацетотрофия является менее энергетически выгодным для бактерий процессом, чем утилизация смеси H_2+CO_2 , считается что около 70% биогенного метана образуется именно ацетокластическим путем [Conrad, 1999; Gerardi, 2003]. Однако в природных местообитаниях метаногенов, таких как болота и торфяники, в зависимости от условий (преимущественно pH и температуры) образование метана может протекать по разным путям. Ацетокластический способ образования CH_4 играет важную роль в кислых болотах [Avery et al., 2003]. Kotsyurbenko с соавт. [2007] показано, что при снижении pH и температуры в кислом болоте происходит переход с ацетокластического на водородный путь метаногенеза.

Источником азота для метаногенов служит аммиак, хотя некоторые штаммы могут также использовать аминокислоты или фиксировать молекулярный азот, источником серы – сульфид или молекулярная сера [Воробьева, 2007].

Условия существования и роста.

Присутствие кислорода и окислительно-восстановительные условия среды. Т.к. метаногенные бактерии являются строгими анаэробами, главным условием их существования является наличие крайне восстановительных условий. Образование CH_4 происходит только в условиях, когда окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) опускается до -100...-300 мВ [Yagi, Minami, 1990; Wang et al., 1993; Gerardi, 2003]. Masscheleyn с соавт. [1993] в модельном эксперименте определили, что величина ОВП, равная -150 мВ, является пороговой для начала образования метана в рисовых почвах. Такие низкие уровни ОВП достигаются в почвах при развитии анаэробнобиозиса после полного потребления кислорода [Орлов, 1985]. Однако в ряде лабораторных и полевых исследований показано, что метаногены способны выдерживать присутствие кислорода в течение нескольких часов и даже дней без снижения численности и

жизнеспособности [Kiener, Leisinger, 1983; Fetzer et al., 1993; Ueki et al., 1997; Ma, Lu, 2011].

Температура. Большинство описанных метаногенных бактерий – мезофильные микроорганизмы с оптимальной температурой для роста 20-40°C [Гусев, Минеева, 1985; Воробьева, 2007; Dunfield et al., 1993; Topp, Pattey, 1997]. Однако метаногены обнаружены в местообитаниях с широким диапазоном температур – от донных отложений морей с постоянной температурой около 2°C до геотермальных источников с температурой порядка 100°C [Меркель и др., 2015; Zinder, 1993]. Особую группу занимают психрофильные метаногенные бактерии, способные синтезировать метан при низких температурах. Они изучены в переувлажненных тундровых почвах [Kotsyurbenko et al., 1996], в донных отложениях рек, глубоководных озер и морей [Wagner, Pfeiffer, 1997], а также в осадках бытовых и промышленных сточных вод в условиях умеренного климата [Ножевникова и др., 1999; Kotsyurbenko et al., 1993]. В этих работах показано, что в различных экосистемах активность метаногенеза может быть достаточно высокой при низких температурах.

pH. Оптимальные значения pH для метаногенов лежат в пределах 6,5-8,0 [Кондратьева, 1983; Garcia, 1990; Wang et al., 1993; Zinder, 1993]. Однако образование метана в кислых болотах свидетельствует о том, что некоторые метаногены способны расти и функционировать при низких значениях pH (3,0-5,0) [Kotsyurbenko et al., 2004]. В то же время известны метаногены, обитающие в соленых водоемах при pH=11,0 [Заварзин, Васильева, 1999].

Соленость. Среди метанобразующих бактерий описаны галофилы, способные развиваться в диапазоне соленостей от 3 до 30% NaCl. Характерной чертой этой группы является способность использовать только C₁-субстраты (три- и монометиламин, метанол) [Заварзин, 1984].

Ареалы распространения. Метаболические свойства метанобразующих бактерий (строгий анаэробизм, зависимость от ограниченного набора ростовых субстратов, в первую очередь от молекулярного водорода)

определяют их распространение в природе. Метаногены выделены из многих анаэробных сред (рисовые почвы, тундровые почвы, торфяники и болота, донные отложения пресных водоемов и морей, гидротермальные источники, пищеварительный тракт жвачных животных) [Chaban et al., 2006; Liu, Whitman, 2008].

Однако метаногены присутствуют во всех, даже хорошо аэрируемых, почвах, где образование метана инициируется при насыщении влагой [Conrad, 1996]. Например, Peters и Conrad [1995] выделили метанообразующих бактерий из 5 типов почв с аэробными условиями, включая почвы пустынь. Teh с соавт. [2005] обнаружили протекание метаногенеза в почвах влажных тропических лесов при концентрации O_2 в них до 19%. Radl с соавт. [2007] измеряли активность метаногенеза в луговых почвах в зависимости от внесения удобрений. Poplawski с соавт. [2007] изучали структуру сообщества метаногенов в почве ячменного поля в Швеции. Angel с соавт. [2012], исследуя активность образования метана и сообщество метаногенов в аэрируемых почвах различных экосистем, показали, что из 80% образцов после инкубации в анаэробных условиях происходило выделение метана.

Выживание образующих метан бактерий в аэрируемых почвах может быть связано:

1. с наличием не выделенных еще метаногенов, мало чувствительных к присутствию O_2 [Conrad, 1996];
2. с наличием анаэробных микрзон (как правило, внутри почвенных агрегатов), образующихся при вытеснении почвенного воздуха водой и/или в областях скопления больших количеств органических веществ, активное разложение которых аэробными микроорганизмами приводит к истощению кислорода [Аммосова и др., 1985; Степанов, Манучарова, 2006; Smith, 1980].

В агрегатах почв микроорганизмы закономерно расположены в зависимости от потребности в кислороде: анаэробы занимают центр агрегата, а аэробы - периферическую область. Соотношение анаэробных и аэробных

микрон регулируется, в первую очередь, влажностью почвы, а также наличием доступного микроорганизмам субстрата [Smith, 1980].

Окисление метана. Бактериальное окисление метана осуществляется специфичной группой метанооксиляющих микроорганизмов. Согласно клеточной физиологии, они подразделяются на метанассимилирующие бактерии (собственно *метанотрофы*) и на бактерии с соокислением метана (*автотрофные аммонийоксиляющие бактерии*) [Гальченко, 2001; Hanson, Hanson, 1996].

Общая характеристика метанотрофов.

Метанотрофы – это метилотрофные микроорганизмы, структурно и функционально специализированные на использовании метана.

Среди них выделяют *облигатных метанотрофов* – микроорганизмы, способные использовать в качестве источника углерода и энергии только метан и некоторые его производные, не содержащие С-С связи, и *факультативных метанотрофов* – метилотрофные микроорганизмы, ассимилирующие как одноуглеродные соединения – метанол, формальдегид, метиламины, так и другие органические вещества. Облигатные метанотрофы являются грамотрицательными бактериями, использующими метан в качестве источника углерода и энергии в аэробных или микроаэрофильных условиях [Гальченко, 2001].

Морфологически виды метанотрофов очень разнообразны и представлены кокками, палочками, вибриоидными и грушевидными клетками. Многие из них подвижны благодаря наличию жгутика или пучка жгутиков. Весьма характерно для всех метанотрофов образование покоящихся форм – цист или экзоспор [Малашенко и др., 1978].

По современным представлениям, метанотрофы насчитывают 56 видов из 21 рода, принадлежащих к 4 семействам из 3 классов и 2 типов [Nazaries et al., 2013].

По функциональным характеристикам выделяют 3 группы метанотрофов (тип I, тип II и тип X). Метанотрофы типа I (роды *Methylobacter* и *Methylomonas*) используют рибулозомонофосфатный путь ассимиляции углерода, метанотрофы типа II (роды *Methylosinus* и *Methylocystis*) – сериновый путь. Метанотрофы типа X, к которым относят представителей рода *Methylococcus*, обладают некоторыми свойствами первых двух типов [King, 1992; Hanson, Hanson, 1996].

Обнаружены 2 формы окисления метана [Le Mer, Roger, 2001]. Первая форма – окисление «с высоким сродством» - происходит при концентрациях CH_4 , близких к его содержанию в атмосфере (<12 ppm). Эта форма наиболее распространена в почвах и осуществляется метанотрофами типа I. Считается, что метаноокисление «с высоким сродством» ответственно за 10% от общего глобального поглощения CH_4 [Topp, Pattey, 1997]. Вторая форма окисления метана «с низким сродством» наблюдается в метаногенных средах с высокой концентрацией метана (>40-100 ppm) и низким содержанием кислорода и осуществляется метанотрофами типа II [Nazaries et al., 2013]. Популяции бактерий, ответственные за эту форму метаноокисления являются истинными метанотрофами [Jones, Nedwell, 1993].

Процесс метаноокисления происходит последовательно в несколько стадий. Начинается он с превращения метана в метанол, которое осуществляется лабильной ферментной системой *метанмонооксигеназой* (ММО). Затем следуют стадии окисления до формальдегида, формиата до конечного продукта – углекислого газа:

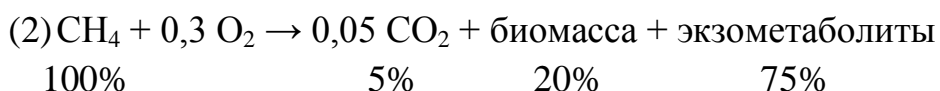
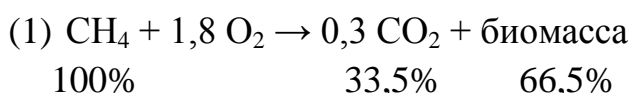


В настоящее время выявлены две ферментные системы – *растворимая* (sММО, soluble cytoplasmic form) и *мембрансвязанная* (pММО, membrane-bound particulate form). Помимо метана ММО также способна катализировать окисление алканов, алкенов, эфиров, ациклических, ароматических и гетероциклических соединений [Гальченко, 2001].

Т.к. конечным продуктом метаноокисления является углекислый газ, процесс микробной утилизации метана, несомненно, снижает его концентрацию в среде, но приводит к увеличению содержания CO₂.

Однако количество выделяемого углекислого газа определяется условиями протекания процесса и, в первую очередь, достаточным содержанием кислорода. Выявлено, что в условиях достатка кислорода метан окисляется до CO₂ и расходуется на компоненты клеток, тогда как при лимитировании по кислороду появляется значительное количество внеклеточных продуктов, а урожай клеток может снизиться втрое [Малашенко и др., 1978; Иванов, 1988; Гальченко, 2001].

Ниже приведены брутто-формулы процесса окисления метана в условиях лимита по метану (1) и лимита по кислороду (2) для культивируемых в лабораторных условиях культур метанотрофов:



В уравнении (1) показано, что углекислый газ составляет около 30% от всех продуктов реакции метаноокисления. Однако в исследованиях активности бактериального окисления атмосферного метана лесными и пахотными почвами с помощью радиоизотопных методов выявлено, что основным продуктом метаноокисления является углекислый газ – в него переходит до 60% CH₄. В биомассе и внеклеточных продуктах микроорганизмов ассимилируется, соответственно, от 33 до 43% [Кравченко и др., 2005; Whalen et al., 1992; Holmes et al., 1999].

Условия существования и роста.

Температура. Большинство метанотрофных микроорганизмов являются мезофилами с оптимумами роста при 25-37°C [Гальченко, 2001; Bender, Conrad, 1995; Hanson, Hanson, 1996]. Однако выявлены также термо- и психрофильные виды, способные расти при 45-72 и 0-20°C, соответственно

[Заварзин, Васильева, 1999; Ножевникова и др., 1999; Omelchenko et al., 1993; Bodrossy et al., 1997; Tsubota et al., 2005; Islam et al., 2008]. В природе популяции метанотрофов адаптируются к различным температурам: скорости окисления при 0-5°C могут составлять 10-38% от максимума, полученного при 20-25°C [Дедыш, Паников, 1997b; Dunfield et al., 1993]. А. Но и Р. Frenzel [2012] показано, что сразу после нагревания образца рисовой почвы до 45°C активность метаноокисления в нем снизилась по сравнению с контролем (25°C), однако через 6 дней произошел сильный, но не долговременный рост скорости потребления метана и численности метанотрофов.

Влажность является важным фактором, оказывающим влияние на газообмен почвы с атмосферой и физиологический отклик метанотрофов на водный стресс. Низкий водный потенциал лимитирует бактериальную активность, особенно при значениях <1 Мпа [Adamsen, King, 1993]. Известно, что скорость поглощения метана резко падает при влажности почвы менее 20% от полной влагоемкости [Jäckel et al., 2001]. Однако при сильном увеличении влажности почвы метаноокисление также снижается из-за уменьшения диффузии метана и кислорода в насыщенных влагой порах и их низкой растворимости [Del Grosso et al., 2000; Werner et al., 2006]. По различным данным, оптимальные условия для метаноокисления в почвах складываются при влажности 11% [Whalen et al., 1990], 20% [Adamsen, King, 1993], 20-35% [Bender, Conrad, 1995].

pH. Оптимальный pH для существования метанотрофных бактерий лежит в пределах нейтральных значений (6,0-8,0) [Bender, Conrad, 1995; Hanson, Hanson, 1996; Serrano-Silva et al., 2014]. Однако метанотрофная активность может протекать в широком диапазоне pH. В кислых почвах хвойных лесов метаноокисление достигало своего максимума при pH 4,4-4,8 [Benstead, King, 2001]. С.Н. Дедыш [2005] изучены ацидофильные метанотрофы кислых сфагновых болот и показано, что потребление метана в образцах торфа происходит вплоть до pH 3,3 с максимумом при pH 5,0-5,5. В

то же время известны алкалофильные метанотрофы, обитающие в средах с рН 9,0-9,5, например, в щелочных водоемах [Заварзин, Васильева, 1999].

Влияние кислорода. Кислород является ключевым фактором для осуществления процесса метаноокисления. Содержание O_2 в почвах зависит от их порозности и влажности. Увеличение порозности аэрации и снижение влажности почв способствуют усилению диффузии кислорода [Serrano-Silva et al., 2014]. Метанотрофы могут использовать метан в аэробных или микроаэрофильных условиях. Они имеют строго дыхательный тип метаболизма. Оптимальное содержание кислорода составляет 15-17% для одних видов (при этом более высокие концентрации токсичны) и 30-45% для других; при содержании менее 1% показано лимитирование кислородом роста метанотрофов [Гальченко, 2001].

В то же время известно существование *анаэробного метаноокисления*, которое осуществляют метанотрофные археи. Они являются строгими анаэробами, получающими энергию путем совмещения процессов окисления метана и восстановления сульфатов [Thauer, Shima, 2008; Thauer, 2011]. Представители архей-метанотрофов к настоящему времени не получены в виде чистых культур, поэтому их таксономия официально не утверждена. Кроме того, показана возможность окисления метана в анаэробных условиях для ряда видов метаногенов [Zehnder, Brock, 1980; Moran et al., 2005]. Сообщалось также о возможности соокисления метана чистыми культурами сульфатредукторов [Harder, 1997]. Несмотря на относительно слабую изученность организмов, окисляющих метан в анаэробных условиях, протекание этого процесса показано во многих средах: в толще воды и донных отложениях морей и пресных озер [Абрамочкина и др., 1987; Гальченко, 1995; Гальченко и др., 1986, 2004; Eller et al., 2005], в грунтовых водах вблизи мусорных свалок [Grossman et al., 2002], в рубце желудка жвачных [Kajikawa et al., 2003], в почвах рисовников [Murase, Kimura, 1994], в торфяных болотных почвах [Smemo, Yavitt, 2007], а также в почвах

осушенных торфяников и даже в автоморфных дерново-подзолистых почвах [Поздняков и др., 2011].

Минеральные компоненты среды. Метанотрофы обладают высокой чувствительностью к повышенным концентрациям солей в среде. Увеличение концентраций некоторых катионов и анионов, а также сульфат- и хлорид-ионов, может ингибировать рост метанооксиляющих бактерий [Гальченко, 2001]. Р.Р. Гаязовым [1992] показано, что ингибирующее действие увеличивается в ряду солей: $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} > \text{KCl} > \text{CaCl}_2 > \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. В другом исследовании было установлено, что максимальный ингибирующий эффект на активность бактериального окисления метана в образцах сфагнового торфа оказывали йодиды, бромиды, хлориды и нитраты. Фосфаты, сульфаты и карбонаты влияли слабо. Минеральные соли Al, Ba, Sr, Mg и Ca ингибировали сильнее, чем K и Na [Колесников, Паников, 2005].

Большое количество исследований посвящено ингибирующему действию на метанотрофов иона аммония, который служит конкурентным ингибитором метанмонооксигеназы и источником токсичных продуктов – гидроксиламина и нитрита [Малашенко и др., 1978; Новиков, Степанов, 1999]. С.Н. Дедыш и Н.С. Паниковым [1997b] было показано, что нитрат-ион также оказывает подавляющее действие на жизнедеятельность метанотрофных бактерий, которое имеет пороговый характер: активность метанотрофов существенно снижалась уже при минимальных дозах KNO_3 и далее по мере увеличения концентрации нитрата изменялась мало.

Ареалы распространения. Метанотрофы могут быть обнаружены в различных средах, где происходит смена аэробных и анаэробных условий, например, в почвах, рисовых чеках, в торфяниках и на заболоченных территориях, в донных отложениях, в геотермальных источниках, а также на свалках и полигонах отходов и в осадках сточных вод [Гальченко, 2001; Wendlandt et al., 2010; Nazaries et al., 2013]. В этих средах метанотрофные

бактерии поглощают метан, образуемый метаногенами, и, таким образом, препятствуют его эмиссии в атмосферу.

Метанооксиляющие бактерии встречаются практически во всех почвах. Это объясняется наличием покоящихся форм облигатных метанотрофов в почвах [Глазовская, Добровольская, 1984], что может быть связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, существование метанотрофных микроорганизмов обусловлено выделением метана метаногенами в анаэробных условиях, возникающих в областях скопления органических веществ и затрудненной диффузии O_2 . При концентрации O_2 1-4% начинается тотальное развитие восстановительных процессов в профиле. Наиболее интенсивно анаэробные процессы протекают на затопленных территориях, но они имеют место и в автоморфных почвах [Аммосова и др., 1985]. Это обусловлено тем, что почва представляет собой пористую среду с широким диапазоном экологических условий и, соответственно, большим набором микросред обитания [Звягинцев, 1973, 1979; Степанов, Манучарова, 2006]. Микробное окисление метана в тундровых, бореальных переувлажненных почвах, рисовниках, на свалках и в озерах составляет 10-90% от его продукции [Слободкин и др., 1992; Cicerone, Oremland, 1988; Hanson, Hanson, 1996].

Во-вторых, поскольку метанол и другие C_1 -соединения являются естественными продуктами метаболизма растений, метилотрофы постоянно присутствуют в филлосфере и ризосфере, участвуя в «метанольном цикле». Показано, что метилотрофные бактерии не просто колонизируют растения, но симбиотически связаны с ними, выделяя фитогормоны. Метанотрофы также могут образовывать симбиотрофные ассоциации с различными растениями (рис, сфагновые мхи) [Троценко и др., 2001].

В природных автоморфных почвах происходит окисление атмосферного метана. В инкубационных экспериментах показано, что образцы серых лесных почв пахотных и лесных биогеоценозов обладали способностью поглощать атмосферный метан с низкой скоростью 0,024-

0,051 и 0,21-0,41 нг·г⁻¹·ч⁻¹ [Кравченко и др., 2004]. А.Е. West и S.K. Schidt [2002] обнаружили интересную закономерность увеличения поглощения атмосферного метана почвами сухой высокогорной тундры при усилении в них метаногенеза. Таким образом, выявлено, что автохтонное (внутрипочвенное) образование метана стимулирует деятельность метанотрофов.

В большинстве природных почв максимальные активности бактериального окисления метана приурочены к верхним горизонтам [Conrad, 1996]: в тундровых почвах – 0-2 и 2-5 см [Whalen, Reeburgh, 1990], в почвах лесной зоны – 4-20 см [Whalen et al., 1992; Adamsen, King, 1993; Kähkönen, al., 2002], в луговых почвах - 20 см [Horz, al., 2002]. Whalen с соавт. [1992] показано, что в автоморфных лесных почвах метанотрофы распространяются до глубины 60 см.

Бактериальный фильтр. Почвенные метанотрофные бактерии совместно с другими газотрофами (водородными, серными, тионовыми бактериями, карбоксибактериями и нитрификаторами) составляют сообщество *окислительного бактериального фильтра*, в котором происходит окисление газообразных веществ, продуцируемых газогенерирующими анаэробами или диссипирующими из глубоких слоев литосферы. Необходимым условием развития бактериального фильтра является доступ кислорода. В почву и рыхлые породы кислород поступает из атмосферы или переносится подземными водами [Заварзин, 2004].

Понятие «бактериальный фильтр» по отношению к горючим углеводородным газам миграционного потока из осадочных пород было введено Г.А. Могилевским, установившим активное окисление этих газов в почвенном слое. Впоследствии это явление было использовано им для поиска нефтегазовых месторождений, над которыми особенно активно развивались бактерии, окисляющие углеводороды [Могилевский, 1953].

Показано, что над действующими и проектируемыми газохранилищами в благоприятных условиях бактериальный фильтр проникает глубоко в пористые породы, особенно там, где есть приток подземных вод, которые обеспечивают транспорт окислителя. Вероятность обнаружения бактерий, образующих и окисляющих метан, падает с глубиной, причем процессы генерации углеводородов прекращаются на меньшей глубине по сравнению с процессами их окисления. Это объясняется поступлением углеводородов из нижележащих газоносных толщ [Могилевский и др., 1979а].

Установлено, что наибольшая интенсивность процессов бактериального окисления углеводородов над газохранилищами наблюдается в интервале первых 200-300 м [Могилевский и др., 1979б]. Наиболее благоприятны для жизнедеятельности углеводородоокисляющих микроорганизмов подпочвенные аэрируемые горизонты до уровня грунтовых вод, а также зоны тектонической трещиноватости, характеризующиеся повышенной флюидодинамикой. Для Пермского Предуралья зона максимальной интенсивности бактериальных процессов окисления газообразных углеводородов расположена на глубинах 0,5-3,0 м [Оборин и др., 2004]. С.А. Кулачковой [2006] показано, что в зоне рассеяния углеводородных газов Щелковского подземного газохранилища наибольшие активности бактериального окисления метана приурочены к нижним горизонтам дерново-подзолистых почв и дерново-подзолов.

На полигонах твердых бытовых отходов в связи с чрезвычайно активным разложением органики и потреблением кислорода в толще рекрементогенных отложений бактериальный фильтр охватывает первые 10-20 см, куда происходит приток кислорода из атмосферного воздуха [Каллистова и др., 2005].

В почвах над погребенными свалочными телами при близком залегании свалочного тела (1-1,5 м от поверхности) бактериальный фильтр начинает функционировать на глубинах менее 0,8-1 м, наиболее интенсивное

окисление метана происходит в верхних горизонтах почв (0-0,3 м) [Иванов, 1998].

1.4. Образование, поглощение и выделение CO₂ и CH₄ городскими почвами и грунтами

В ходе урбанизации формируется урбоэкосистема (городская экосистема) – пространственно-ограниченная природно-техногенная система, сложный комплекс взаимосвязанных обменом вещества и энергии живых организмов, абиотических элементов, природных и техногенных, создающих городскую среду жизни человека, отвечающую его потребностям: биологическим, психологическим, этническим, трудовым, экономическим, социальным [Лихачева и др., 1996]. Урбоэкосистемы являются неустойчивыми системами, утратившими способность к самовосстановлению, неспособными противостоять негативным факторам, включая антропогенные воздействия [Реймерс, 1990; Почва, город..., 1997]. Они характеризуются возникновением новых типов искусственно созданных систем в результате деградации, уничтожения и/или замещения природных систем. Урбоэкосистемы обладают меньшей рекреационной ценностью, нарушенным биологическим круговоротом, уменьшением биоразнообразия [Строганова и др., 1997]. Вышеперечисленное приводит к повышению степени экологического риска для всех компонентов окружающей среды: воздуха, растительности, почвы, воды и грунтов [Герасимова и др., 2003].

В процессе развития городов человек активно воздействует на природную среду. При этом изменяются рельеф местности, гидрографическая сеть и уровень подземных вод, горные породы, почвы, растительный покров и климатические условия [Лихачева и др., 1999; Инженерная геология..., 2011]. Эти изменения сопровождаются формированием техногенных грунтов, антропогенных почв и почвоподобных

образований, в которых могут активно протекать процессы образования и поглощения парниковых газов.

1.4.1. Формирование толщ техногенных и техногенно-рекрементогенных отложений

История развития города связана с накоплением техногенных (насыпных) грунтов. Длительное время строительство в Москве сопровождалось размещением на ее территории значительных масс грунтов, извлекаемых из строительных котлованов и тоннелей метро [Лихачева, 2007]. В настоящее время из котлованов в г. Москве извлекается более 26 тыс. т грунта, значительная часть которого используется при выполнении строительных работ [Соломин, 2012].

К данному моменту практически вся площадь Москвы покрыта техногенными грунтами разной мощности (от 1 до 20 м) [Курбатова и др., 2004; Геоэкология Москвы..., 2006]. Наибольшие мощности грунтов отмечаются в центре города, где они представлены культурным слоем [Инженерная геология..., 2011], а также на участках засыпанных оврагов, болот, долин малых рек и ручьев, где техногенные грунты применялись для выравнивания рельефа и понижения уровня грунтовых вод в ходе инженерной подготовки этих территорий под строительство [Владимиров и др., 2004]. Здесь распространены так называемые строительные отвалы и свалки [Викторова, 2007; Огородникова и др., 2010].

Техногенная толща имеет сложный состав. В ней содержатся перекопанные четвертичные и коренные породы, погребенные дорожные покрытия, остатки старых фундаментов, отходы производства, включения органики, строительный и бытовой мусор [Геоэкология Москвы..., 2006; Трофимов и др., 2005].

Техногенные грунты строительных отвалов характеризуются крайней неоднородностью строения и свойств. Они содержат большое количество (в среднем до 30%) крупных включений, которые представлены обломками пород, строительным мусором (обломки бетона, арматуры, битый кирпич, частицы угля и шлака, щепа древесины, осколки стекла, пластик), а также бытовыми отходами. Среди крупнообломочных включений обломки природных пород составляют 7-36%, бытовые отходы – 0-13%, остальное представлено строительным мусором. Сортировка материала отсутствует. В дисперсной массе техногенных грунтов преобладает природная составляющая, гранулометрический состав которой преимущественно супесчаный (встречаемость 41%) и суглинистый (38%). Плотность грунтов может варьировать в широких пределах (от 0,6-0,9 до 1,9-2,2 г/см³). Реакция среды от нейтральной до щелочной, часто наблюдается большое содержание карбонатов и легкорастворимых солей. Содержание органического вещества в грунтах в среднем составляет 0,3-3,0%, максимальные величины достигают 12%. Распределение органического вещества неоднородно, в большинстве случаев оно содержится в отдельных гнездах и линзах, в которых концентрация С орг может увеличиваться в несколько раз относительно значений в средней пробе [Викторова, 2007; Огородникова и др., 2010; Инженерная геология..., 2011].

Влажность техногенных грунтов зависит от их местоположения. Если они были применены для понижения уровня грунтовых вод, например, на поймах рек, то нижняя часть профиля может быть обводнена. Кроме того, в днищах засыпанных рек и оврагов обычно формируются подземные водные потоки, которые также оказывают влияние на влажность всей толщи и способствуют созданию анаэробной обстановки [Геоэкология Москвы..., 2006].

Еще одним отличительным свойством техногенных грунтов является их способность к газогенерации. При наличии доступной для микроорганизмов органики и других благоприятных условиях в толщах грунтов происходит

образование метана, углекислого газа, а также оксидов азота, сероводорода и других компонентов биогаза подобно полигонам твердых бытовых отходов (ТБО) [Ножевникова, 1995], но, как правило, с более низким содержанием газов за счет точечных источников газообразования [Огородникова и др., 2010].

М.А. Викторовой [2007] предложена типизация техногенных грунтов по их газогенерирующей способности. Автор выделяет 4 подтипа грунтов (Табл. 2). В результате исследований выявлено, что большая часть грунтов строительных отвалов не содержит высоких концентраций метана и углекислого газа и относятся к подтипам Н, С и М. Газогенерирующими являются грунты отвалов с повышенным содержанием органики особого состава и грунты свалок со строительными и бытовыми отходами.

Табл. 2. Классификация техногенных грунтов по наличию биогаза и газогенерирующей способности [по Викторовой, 2007].

Подтип	Характеристика
<i>Н</i>	грунты, не содержащие биогаз, концентрации CH_4 , CO_2 , N_2 фоновые, не наблюдается дефицита O_2
<i>С</i>	грунты, в поровом пространстве которых присутствуют повышенные концентрации CO_2 при возможном дефиците O_2 и повышенном содержании N_2
<i>М</i>	грунты, содержащие CH_4 в концентрациях более 0,1% при разном соотношении остальных газов
<i>Г</i>	газогенерирующие грунты, содержащие CH_4 и CO_2 в разных соотношениях

Следует отметить, что к грунтам, содержащим только углекислый газ (*подтип С*), относятся: а) грунты, разложение органического вещества в которых происходит в аэробных условиях; б) грунты большого возраста отсыпки, процессы газогенерации в которых находятся на завершающей стадии – образовании CO_2 ; в) грунты, содержащие углекислый газ аллохтонного происхождения, мигрирующий из нижележащих слоев. В грунтах *подтипа М* возможно создание анаэробных микрозон и осуществление метаногенеза в них, однако большая часть содержащегося в

этих грунтах метана мигрирует из более глубоких слоев. При доступе атмосферного кислорода аллохтонный метан окисляется в толще грунтов до конечного продукта – диоксида углерода [Викторова, 2008].

Аллохтонный метан может мигрировать как из более глубоких слоев техногенных грунтов, так и из подстилающих их природных отложений. Известно, что в Санкт-Петербурге в пределах города массивы болотных отложений и заторфованных грунтов перекрыты слабопроницаемыми техногенными грунтами мощностью более 2 м, а также зданиями и асфальтобетонным покрытием. Это способствует образованию анаэробных условий ($E_h = -100$ мВ и менее) и активному метаногенезу [Дашко, Александрова, 2008].

1.4.2. Образование парниковых газов в техногенно-рекрементогенных грунтах погребенных свалок

В пределах города помимо толщ техногенных грунтов с включениями строительных и бытовых отходов выделяются *несанкционированные погребенные свалки* - стихийно образовавшиеся или возникшие из-за непродуманной деятельности человека техногенные элементы геологической среды из отходов бытовой и/или производственной сферы площадью более 0,5 га при мощности отложений не менее 1 м [Постановление..., 2005].

Содержание органического вещества в техногенно-рекрементогенных отложениях погребенных свалок существенно выше, чем в техногенных грунтах строительных отвалов, что определяет их более высокую способность к образованию компонентов биогаза.

Погребенные свалки в Москве были сформированы следующим образом. На окраинах города образовывались мелкие несанкционированные свалки в результате стихийного вывоза и складирования отходов в пониженных элементах рельефа – в карьерах, оврагах, по берегам рек. По мере расширения границ города территории с этими свалками вовлекались в

строительство и перекрывались слоями строительных отходов и привозных грунтов. Таким образом, происходило погребение свалочного тела и выравнивание рельефа [Экологические функции..., 2004; Соломин, 2009a].

В настоящее время на территории Москвы выделяется более 150 несанкционированных погребенных свалок [Экологический атлас..., 2000; Постановление..., 2005]. Они представляют собой толщи техногенных грунтов с большим количеством бытовых отходов и строительного мусора мощностью от 1 до 20 м и площадью 0,02-20 га [Соломин, 2009b]. В некоторых случаях включения бытового и строительного мусора достигают 70-80% объема свалочного тела [Экологические функции..., 2004]. Общая площадь свалок постепенно сокращается благодаря проведению рекультивационных работ и составила в 1992, 2003 и 2008 году, соответственно, 935, 658,6 и 419 га [Труфманова, Галицкая, 1999; Постановление..., 2005; Соломин, 2009b].

На территории Москвы погребенные свалки распространены неравномерно. Большая их часть находится в Западном, Юго-Западном и Южном административных округах Москвы, что объясняется историей застройки города и геоморфологическими особенностями данной территории, расположенной на расчлененной Теплостанской возвышенности [Соломин, 2009b].

В погребенном слое техногенно-рекрементогенных отложений в отсутствие свободного кислорода под воздействием анаэробных микроорганизмов органические компоненты отходов разлагаются с образованием метана и углекислого газа [Иванов, 1998]. Активность микробиологического образования метана может превышать $1 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ [Можарова и др., 2010]. Концентрации газов в газогенерирующих слоях на глубинах более 1 м могут достигать величин, подобных биогазу полигонов ТБО (50-70% CH_4 , 20-40% CO_2) [Экологические функции..., 2004; Иванов, 2009].

Д.В. Ивановым [1998] определена вертикальная зональность газогеохимических процессов по разрезу погребенной свалочной толщи. Выделены следующие зоны:

- *анаэробная зона (глубина более 0,8-1 м)*, где под воздействием анаэробной микрофлоры протекают процессы разложения органического вещества с образованием биогаза (концентрации метана и углекислого газа достигают пожаро-взрывоопасных величин);

- *переходная зона (0,3-0,8 м)*, куда биогаз мигрирует из очагов генерации и в присутствии свободного кислорода окисляется аэробными микроорганизмами;

- *аэробная зона (0-0,3 м)*, в которой происходит практически полное окисление компонентов биогаза, продукты окисления выделяются в приземную атмосферу.

Благодаря активному поглощению метана в аэробной зоне его концентрация снижается до фоновых значений, эмиссия в приземную атмосферу не наблюдается [Иванов, 2009].

Границы зон могут варьировать в широких пределах в зависимости от состава и свойств свалочного тела и перекрывающих его техногенных грунтов, которые определяют интенсивность образования и вертикальной миграции газов [Лебедев и др., 2005]. Большую роль играет влажность газогенерирующего слоя. В ряде исследований техногенно-рекрементогенных отложений как погребенных свалок, так и полигонов ТБО показано, что с увеличением влажности грунта возрастает активность образования газов [Ножевникова и др., 1989; Вайсман и др., 2003; Лебедев и др., 2005].

1.4.3. Газовая функция городских почв

Городские почвы не всегда подходят под классическое определение почвы как природного естественно-исторического тела. Тем не менее, они являются биокосной многофазной системой, состоящей из твердой, жидкой и

газовой фаз с участием живых организмов. Почвы в городе формируются под воздействием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, при доминировании антропогенного фактора, что накладывает определенный отпечаток на свойства и режимы городских почв [Строганова и др., 1997].

Существенная преобразованность городской среды по сравнению с природной определяет важность городских почв. В них замыкаются биогеохимические круговороты веществ, происходит трансформация поверхностных вод в грунтовые, они являются питательным субстратом для растений, банком семян, регулятором газового обмена с атмосферой, барьером на пути загрязняющих веществ [Герасимова и др., 2003], т.е. выполняют те же экологические функции, что и природные почвы [Добровольский, Никитин, 2012], и в целом определяют экологическую обстановку в городе [Смагин и др., 2008].

Газовая функция городских почв аналогичная природным разностям: 1) поглощение газов, мигрирующих из нижележащих слоев литосферы; 2) образование газообразных веществ в профиле; 3) эмиссия газов в атмосферу и поглощение из нее [Минько, 1988].

Поглощение аллохтонного метана

Как было показано выше, техногенные и природные грунты могут генерировать метан и углекислый газ, которые мигрируют в вышележащие слои. В городских почвах и ТПО развивается сообщество метанотрофных микроорганизмов, осуществляющих окисление метана и препятствующих его эмиссии в атмосферу. На территории с запечатанными техногенными грунтами, где в грунтовой толще происходит активный метаногенез, урбаноземы, расположенные по периферии участка, окисляли практически весь метан, поступающий в них из нижележащих слоев за счет вертикального и латерального переноса. В результате этого концентрация газа в почвах снижалась до 3-5 ppm, эмиссия отсутствовала [Можарова и др., 2010].

Аллохтонный метан может поступать в почвы в результате утечек из городских газовых коммуникаций. При этом значительно возрастает интенсивность микробиологического окисления метана за счет активного развития группы метанотрофных микроорганизмов. Установлено, что область влияния утечки газа зависит от ее интенсивности и может иметь радиус до 20 м, при этом в радиусе до 11 м образуются полностью анаэробные условия. Вокруг анаэробной зоны формируется неширокая (вследствие высокой интенсивности) зона окисления, которую, в свою очередь, окружает зона транзита кислорода из незатронутых участков [Почва, город..., 1997].

Эмиссия и сток метана и углекислого газа городскими почвами

Применение органо-минеральных смесей при озеленении городских территорий и создании газонов может способствовать образованию и выделению метана. Хорошо известно, что торфяники являются источниками CH_4 [Новиков и др., 2004]. Поэтому предполагается, что в горизонтах РАТ реплантоземов может происходить активное образование метана благодаря существованию метанобразующих бактерий в анаэробных условиях внутри агрегатов [Степанов, Манучарова, 2006]. Однако в работе А.Л. Степанова с соавт. [2005] отмечена низкая численность метаногенов в образцах рекультивационных горизонтов на газонах, что авторы связывают с недостаточной влажностью исследованных почв. М.М. Визирской с соавт. [2013] показано, что в течение лета почвы газонов, находящихся в различных функциональных зонах города и подверженных разной антропогенной нагрузке, являются стоком атмосферного метана (поглощение CH_4 составляет $0,01-0,04 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$).

Эмиссия углекислого газа из городских почв варьирует в широких пределах в зависимости от условий увлажнения, температурного режима и нагрузки на почвенный покров.

Создание рекультивационного горизонта RAT должно усиливать эмиссию диоксида углерода в атмосферный воздух за счет содержания в нем большого количества легкодоступного микроорганизмам органического вещества. По данным А.В. Смагина [2010], использование торфяного грунта может приводить к выделению углекислого газа с поверхности газонов в атмосферу с интенсивностью $1,1 \text{ кг/м}^2$ в год (при скорости минерализации торфа $0,8 \text{ кг/м}^2$ в год), что на порядок превышает удельный вклад в эмиссию CO_2 автомобильного транспорта Москвы, суммарный выброс от которого составляет примерно $0,1 \text{ кг/м}^2$ в год.

В то же время отмечаются частые случаи низкой активности почвенного дыхания придорожных и придомовых газонов. Дыхание городских почв было в 1,5-2 раза меньше, чем в рекреационных зонах, несмотря на использование органогенных материалов [Смагин и др., 2008]. Это может быть связано с неблагоприятными физико-химическими свойствами почв, недостаточным увлажнением, увеличением содержания легкорастворимых солей и загрязняющих веществ.

В парковых зонах Москвы и Подмосковья газоны могут выделять большие количества углекислого газа. Эмиссия CO_2 из урбаноземов и реплантоземов газонов музея-усадьбы «Архангельское» достигала $250-300 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ и была максимальной по сравнению с остальными почвами и ТПО парка, в том числе условно-эталонными постагрогенными дерново-подзолистыми почвами [Семенюк и др., 2013]. Однако эта максимальная величина эмиссии углекислого газа ниже типичных значений для зональных дерново-подзолистых почв, которые составляют $350-1400 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ [Курганова, 2010; Гончарова, Телеснина, 2010].

Эмиссия углекислого газа из почв городских газонов в холодном климате в среднем составляет $200 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, достигая максимума более $2200 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ при внесении удобрений [Allaire et al., 2008].

В городах аридных регионов эмиссия диоксида углерода из городских почв существенно зависит от условий увлажнения. Почвы в жилых районах и

на участках общественного пользования, подверженные высокой антропогенной нагрузке, выделяли $130-150 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$. С увеличением интенсивности ухода за газонами и их увлажнения эмиссия углекислого газа из почв увеличивалась, достигая максимума около $790 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ [Koerner, Klopatek, 2002].

Таким образом, городские почвы и техногенные отложения являются источниками углекислого газа и метана, образование и выделение которых зависит от свойств почв и грунтов. В техногенных и рекрементогенных грунтах, содержащих бытовые и строительные отходы, происходит образование и накопление CO_2 и CH_4 , концентрации которых могут достигать чрезвычайно высоких величин. Городские почвы являются преимущественно стоком атмосферного метана и источником углекислого газа, интенсивность выделения которого в первую очередь определяется антропогенной нагрузкой на почвы.

1.5. Применение почвенных конструкций для снижения выбросов парниковых газов

В настоящее время все возрастающая хозяйственная деятельность человека приводит к разрушению почвенного покрова, его загрязнению и деградации. Результатом воздействия человека являются антропогенные почвы, формирующиеся в районах добычи угля и нефти, в зонах влияния водохранилищ, на осушаемых и орошаемых массивах и т.д. [Солнцева, 1998; Андроханов и др., 2000; Герасимова и др., 2003]. Особую группу представляют искусственно созданные почвенные конструкции, используемые для различных целей [Шеин, 2001; Белобров, Замотаев, 2007]. Создание искусственных почвенных конструкций возможно благодаря активному развитию нового фундаментального направления в почвоведении – *почвенного конструирования*. Его целью является научное обоснование проектов искусственно возводимых человеком почвенных конструкций для

выполнения ими необходимых природных и технологических функций при максимальной устойчивости к антропогенным факторам [Смагин, 2012].

Одним из направлений применения почвенных конструкций является использование специальных биофильтров, предотвращающих эмиссию парниковых газов из различных газогенерирующих грунтов, в частности выбросов метана со свалок и полигонов твердых бытовых отходов [Venugopal et al., 2003; Govind, 2009; Scheutz et al., 2009].

Почвенные конструкции могут иметь локальное или площадное распространение на территории полигона ТБО. В первом случае свалку закрывают сверху слабопроницаемым покровом и оставляют открытыми небольшие участки, куда потом устанавливают биофильтры. Такие конструкции называются *биоочейками (biocells)*. Для того чтобы свалочный газ перемещался к биофильтру, прокладывают специальные газопроводящие каналы и трубы (Рис. 3) [Venugopal et al., 2003; Using biofilters..., 2007].

Во втором случае всю площадь полигона закрывают сверху специальной почвенной конструкцией, называемой *биопокровом (biocover)*, которые полностью запечатывают поверхность свалки и препятствуют эмиссии метана. При этом не требуется прокладка дополнительных инженерных сооружений (Рис. 4).

Кроме того, Abichou и Chanton [2006] предлагают еще два вида биофильтров. Один из них (собственно *биофильтры (biofilters)*) могут использоваться на полигонах со специальными вентиляционными трубами (для выхода метана в атмосферный воздух и предотвращения его горизонтальной миграции). Если разместить биофильтры, представляющие собой пористый субстрат с метанотрофными бактериями, в верхней части этих труб, то они будут окислять метан и другие газообразные продукты функционирования свалки и тем самым препятствовать их выходу в атмосферный воздух.



Рис. 3. Схема дренажного поля и расположения ячеек-биофильтров [Using biofilters..., 2007].

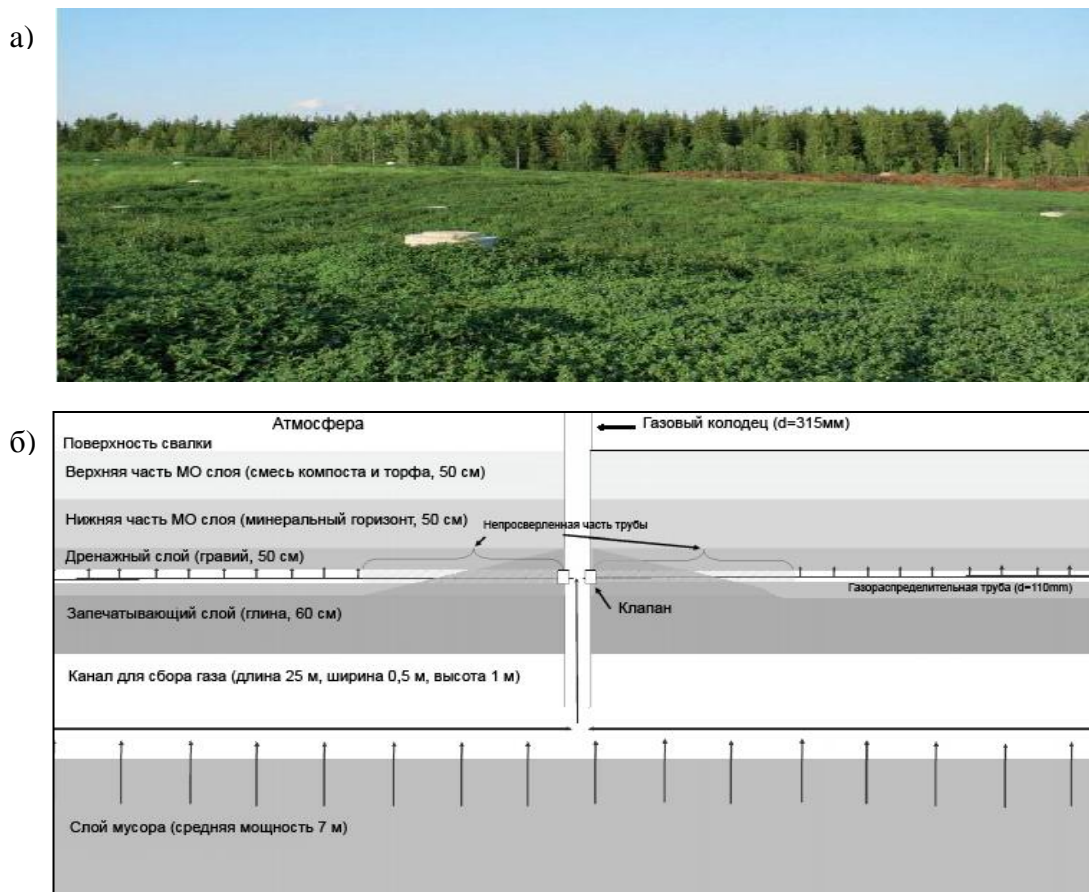


Рис. 4. Площадная конструкция для предотвращения выбросов метана со свалки (Финляндия): а) общий вид, б) схематичный профиль, показывающий газовый канал и территорию вокруг него с биопокровом [Eirola, 2010].

Еще один описанный авторами вид биофильтров называется «**биоокна**» (*biowindows*). «Биоокна» могут использоваться, когда создание полноценного биопокрова невозможно или слишком дорого, а также при отсутствии системы газопроводящих каналов, необходимых для сооружения биоячейки. «Биоокна» занимают не всю площадь свалки, а отдельный сектор среди укрывающего наружного слоя. Материал, из которого они состоят должен иметь большую газопропускающую способность по сравнению с окружающим покровом, чтобы газовые потоки проходили именно через них.

Почвенные конструкции полигонов ТБО обычно состоят из нескольких слоев, наиболее часто из двух: метанооксиляющего и газопроводящего [Humer, Lechner, 2001; Venugopal et al., 2003; Einola, 2010]. Gebert с соавт. [2003] предложили использовать конструкцию, состоящую из 5 слоев: гравия для дренажа, тонкодисперсной глины, гравия, песка и верхнего слоя почвы. Общая мощность конструкции составила 1 м.

Метанооксиляющий слой представляет собой органический или неорганический субстрат, обладающий благоприятными свойствами для жизнедеятельности метанотрофных бактерий. Наиболее важными параметрами являются высокая порозность и влагоемкость, содержание необходимого количества питательных веществ. Материалы должны быть проницаемыми для газа, но при этом обладать хорошей структурой для его удержания в течение времени, необходимого для окисления. Содержание органического вещества должно быть стабильным, чтобы потребление кислорода гетеротрофными микроорганизмами не препятствовало метаноокислению. Также не должно происходить образования метана в субстратах [Einola, 2010].

Органические субстраты включают в себя почвы, компосты и торфа (или органо-минеральные смеси на основе этих компонентов), неорганические - естественные и синтетические материалы, такие как камни, керамика, пластик, стекло, пенополиуретан и др. с иммобилизованными на их поверхности бактериями. Синтетические субстраты также могут

представлять собой частицы с большой удельной поверхностью или большой пористостью. Иногда их гранулы покрывают активированным углем для усиления адсорбции загрязняющего вещества [Govind, 2009; Nikiema, Heitz, 2010].

По данным ряда авторов, *органические субстраты* являются наиболее предпочтительными материалами для поглощения метана [Venugopal et al., 2003; Mor et al., 2006]. Они достаточно дешевы и легкодоступны. Изначально содержат пул метанотрофных микроорганизмов, что исключает необходимость их внесения, и обладают питательными веществами, необходимыми для роста микроорганизмов. Поэтому такие субстраты начинают активно функционировать после короткого начального периода (меньше одной недели для компостов и двух недель для почв) [Nikiema, Heitz, 2010]. Scheutz с соавт. [2009] показано, что наибольшей эффективностью поглощения метана среди органических субстратов обладают компосты (бытовых отходов, сточных вод, древесных материалов и т.д.). В результате их применения эмиссия метана с полигона ТБО снизилась на 89-100%.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Характеристика объектов исследования

Объектом исследования являются почвы на техногенных отложениях, подстилаемых газогенерирующими техногенно-рекрементогенными грунтами или органогенными природными отложениями в Москве и Московской области.

Как было показано в литературном обзоре, техногенные грунты формируются при инженерной подготовке территорий под строительство: при планировке участков с сильно расчлененным рельефом для выравнивания поверхности, на поймах рек – для понижения уровня грунтовых вод. Они содержат большое количество строительного и бытового мусора (до 30%), разложение которого приводит к образованию метана и углекислого газа.

Данное исследование проводилось на пяти участках с техногенными грунтами разной мощности, состава и возраста (Рис. 5).

Участок I – почвы на маломощных непотопляемых техногенных отложениях

На участке I (территория Московского университета) исследования проводились по трансекте от ул. Косыгина до Ломоносовского проспекта. Разрезы и точки газогеохимической съемки закладывались на участках разного функционального назначения: в парке («Большой газон»), в Ботаническом саду МГУ, а также на придорожных газонах. Засыпка данной территории проводилась в 1950-х гг. при строительстве университета [Семихатов, 1955]. Здесь распространены маломощные техногенные грунты (до 5 м), не содержащие большого количества строительных и бытовых отходов, подстилаемые флювиогляциальными и моренными отложениями, с глубоким залеганием грунтовых вод.

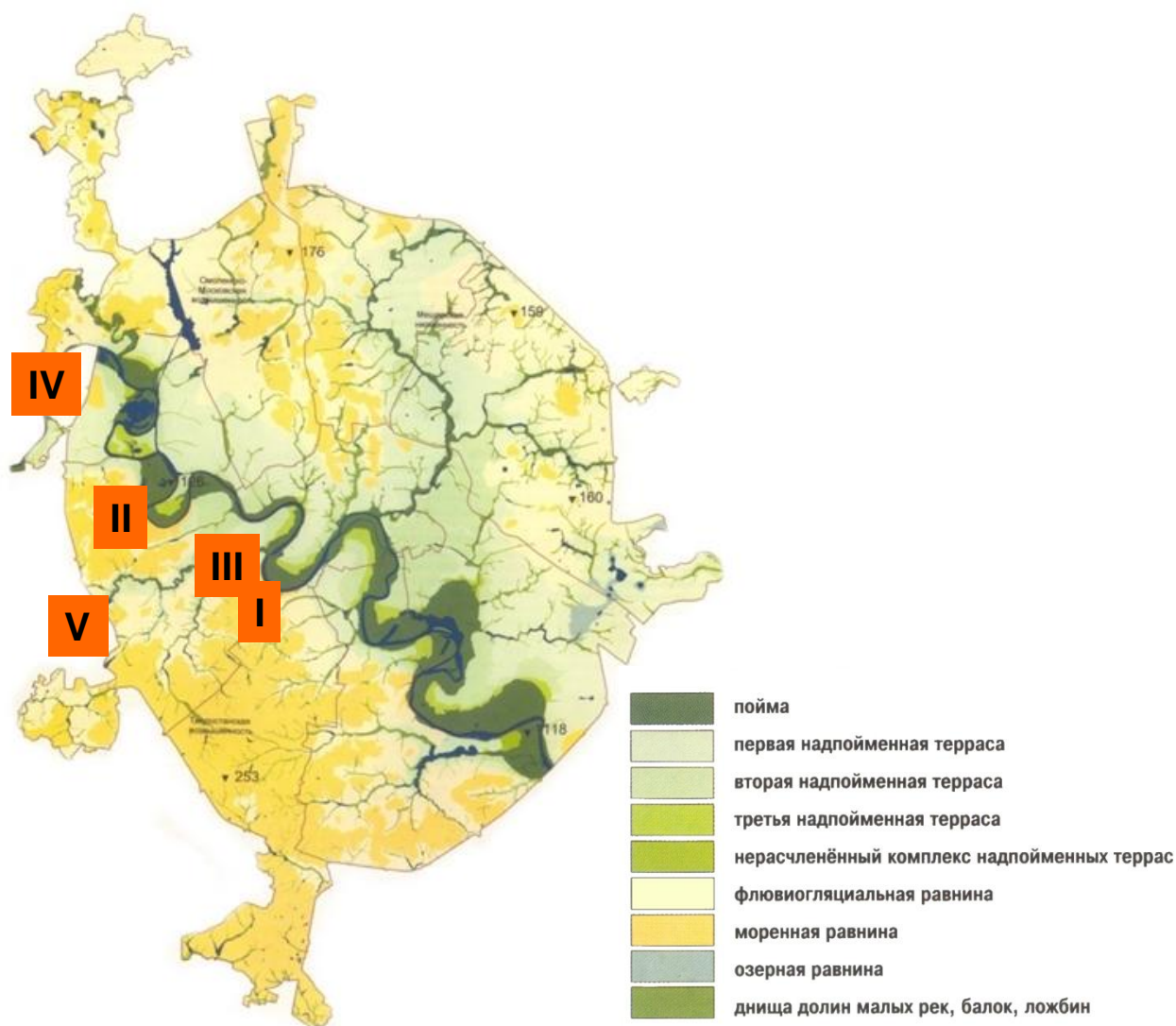


Рис. 5. Местоположение участков исследования. Участок I – территория с маломощными техногенными грунтами; участок II – территория над погребенной свалкой; участок III – территория с мощными техногенно-рекрементогенными отложениями; участок IV – засыпанная Павшинская пойма р. Москвы; участок V – засыпанная пойма р. Сетунь. Основа – геоморфологическая карта [Экологический атлас..., 2000].

Участок II – почвы и ТПО на техногенных грунтах, подстилаемых рекрементогенными отложениями погребенной свалки

На участке II в пойме р. Фильки в прошлом происходило несанкционированное складирование бытовых отходов. В ходе последующей рекультивации территории слой мусора был погребен под техногенными отложениями и асфальтобетонным покрытием. Так было сформировано погребное свалочное тело, где на глубине 4-6 м располагается

газогенерирующий слой грунтов с повышенным содержанием органического вещества. Периодическое подтопление участка способствовало активному образованию метана и углекислого газа в анаэробных условиях. Запечатывание снизило аэрацию грунтов и привело к накоплению газов в техногенной толще до пожароопасных концентраций (фондовые материалы) [Свод правил..., 2012].

Участок III – почвы и ТПО на мощных техногенно-рекрементогенных грунтах

Участок располагается в междуречье рек Сетунь и Раменка. Территория имеет богатую историю. Известно, что недалеко от исследуемого участка уже в XV веке находилось поселение, которое в XVIII веке получило название «Каменная плотина» [Забелин, 2007]. Однако, как показывает анализ карт XV-XIX вв., непосредственно участок исследования не был включен в частную застройку из-за сложного рельефа – на участке был овраг и заболоченный участок поймы [Старые карты..., 2009-2016].

В 1960 году территория была включена в состав города Москвы. В 1970-х гг. началось ее освоение для нужд строительства, была проведена инженерная подготовка, в ходе которой рельеф данного района претерпел существенные техногенные изменения. Была значительно снижена густота расчленения поверхности за счет засыпки оврагов и болот, были изменены абсолютные отметки поверхности за счет площадных подсыпок.

Грунты исследуемого участка имеют мощность от 10 до 18 м и представлены привезенным техногенным материалом с включениями рекрементогенных отложений. Это пески различной крупности, супеси и суглинки со строительным и бытовым мусором (обломки бетона, битый кирпич, арматура, древесина, стекло, пластик, остатки органики, древесина и др.). Особенностью грунтов является их крайняя неоднородность, отсутствие закономерностей в составе и свойствах. Нижняя часть техногенной толщи

обводнена. Интерес к данному району обусловлен максимальной мощностью насыпных грунтов на территории Москвы [Курбатова и др., 2004].

Участок IV – почвы и ТПО на техногенных грунтах засыпанной Павшинской поймы р. Москвы

Территория Павшинской поймы располагается в Красногорском районе Московской области, в левобережье р. Москвы. Непосредственно участок исследования ограничен Волоколамским ш. с севера и запада, р. Москвой с востока и р. Банькой (притоком р. Москвы) с юга.

До 2003 года пойма использовалась под сенокосы. В 2004 году перед началом строительства нового жилого района территория была засыпана техногенными грунтами. Засыпка и строительство проводились постепенно с юго-западной стороны по направлению к р. Москве. В 2007 году были сданы в эксплуатацию первые дома. В настоящее время строительство находится на завершающем этапе, вся пойма застроена, большая часть территории благоустроена.

Исследования проводились на 4 ключевых участках, расположенных на разных геоморфологических позициях – в низкой и центральной пойме р. Москвы, на заболоченном участке центральной поймы со старицей, а также в пойме р. Баньки. На момент исследования на участке в пойме р. Баньки засыпка техногенными грунтами только начиналась, ими было перекрыто около 1/3 площади участка. Остальные ключевые участки были полностью перекрыты техногенными грунтами. Также была заложена трансекта, захватывающая как благоустроенные кварталы, так и участки строительства.

Основной целью засыпки поймы техногенными грунтами было понижение уровня грунтовых вод. До начала строительства уровень грунтовых вод располагался не глубже 3 м, на низкой пойме и заболоченном участке наблюдался их выход на поверхность. Большая часть поймы находилась в подтопленном состоянии, что препятствовало строительству.

Техногенные грунты, используемые при инженерной подготовке на Павшинской пойме, представлены привозными грунтами, неоднородными по своему составу и свойствам. В основном они имеют супесчаный и легкосуглинистый гранулометрический состав, содержат от 5 до 30% строительного и бытового мусора (обломки кирпича и бетона, арматуру, древесину, битое стекло, пластик, полиэтилен и др.). Мощность насыпи варьирует от 1 до 7 м.

После засыпки уровень грунтовых вод понизился до 4-7 м, практически везде удалось избавиться от подтопления. Однако возле старицы и частично на низкой пойме даже после завершения планировочных работ наблюдалось подтопление участков.

Газогеохимическое состояние почв и ТПО на Павшинской пойме обуславливается также и притоком аллохтонного метана из погребенных природных органогенных отложений. На участках в пойме р. Баньки и возле старицы, по данным геологических исследований, распространены аллювиальные отложения с органическими остатками, а также слои торфа и сапропели. Они залегают на разной глубине: местами в аллювиальной толще непосредственно под насыпью (глубина залегания после инженерной подготовки составила 0,2-5,8 м), местами – в более глубоких слоях на глубине 10-17 м.

Участок V – почвы и ТПО на техногенных грунтах засыпанной поймы р. Сетунь

Участок располагается в п. Заречье Одинцовского района Московской области, вблизи пересечения МКАД и Сколковского шоссе на заболоченной пойме р. Сетуни. Инженерная подготовка и засыпка данной территории техногенными грунтами проводилась с целью понижения уровня грунтовых вод, который составлял 60-80 см от поверхности.

Инженерная подготовка территории под строительство началась незадолго до проведения полевых исследований, на момент которых большая

часть участка была покрыта насыпными грунтами, возраст отсыпки менее 1 года. Грунты мощностью 0,7-4,7 м представлены преимущественно суглинками, местами опесчаненными, неоднородной окраски, в основном темно-бурой, с различным количеством темно-серых, ржавых пятен. Отмечается значительное количество камней, включений строительного мусора: битого кирпича, железных обломков, древесины и др.

2.2. Методы исследования

Полевые методы

Фактический материал был получен в ходе полевых исследований 2011-2013 годов. Всего на участках исследования было заложено 115 разрезов и прикопок, поставлено 222 точки газогеохимической съемки.

Полевые исследования проводились в теплый период (с мая по сентябрь). На участке IV 16 разрезов исследовались в сезонной динамике. Полевые исследования включали в себя: *морфологическое описание разрезов*, измерение *температуры почвы* и *окислительно-восстановительного потенциала* потенциометрическим методом (с помощью полевого потенциометра/термометра HANNA Instruments HI 8314, n=10) и *отбор образцов* для лабораторного определения свойств почв и ТПО.

Для оценки газогеохимического состояния участков была проведена поверхностная *газовая съемка*, которая включала в себя определение концентрации метана и углекислого газа в почвенном и приземном воздухе, а также их эмиссии в атмосферу. Точки газогеохимической съемки закладывались по сетке квадратов с шагом 30-50 м с учетом дифференциации участков по типам почв и условиям увлажнения.

Концентрации газов в почвенном воздухе определялись в ходе шпуровой газовой съемки путем размещения в почве на глубине 30 и 60 см пробоотборника с выведенными на поверхность герметичными трубками. Через 1 час через эти трубки отбирались пробы почвенного воздуха с

помощью медицинских шприцов объемом 10 мл. Непосредственно после отбора пробы переносились для консервации в герметично закрытые пенициллиновые флаконы (объем 15 мл), заполненные насыщенным солевым раствором NaCl. Проба переносилась таким образом, чтобы сохранялось избыточное давление, которое препятствует подсасыванию воздуха из атмосферы во время транспортировки и хранения проб.

Эмиссию газов определяли камерным статическим методом [Александров и др., 1996]. В качестве камер использовались небольшие полые жестяные открытые снизу цилиндрические сосуды-изоляторы объемом $\sim 1100 \text{ см}^3$. Сосуды врезали в почву на глубину до 5 см непосредственно перед определением. Сразу же после установления камеры и через 1 час отбирали пробы воздуха приземной атмосферы описанным выше способом. Первая проба характеризовала содержание газов в приземном атмосферном воздухе, вторая – отражала процессы эмиссии или поглощения газов почвами и ТПО, в результате газообмена между ними и атмосферой. Расчет эмиссии (поглощения) газов проводился по формуле:

$$q = \Delta C h / \Delta t, \quad (1)$$

где ΔC – изменение концентрации газов в камере ($\text{мг}/\text{м}^3$) за время экспозиции (Δt , 1 час), h – высота камеры (0,1 м). Эмиссия метана выражалась в $\text{мг CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, углекислого газа – в $\text{мг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Определение содержания газов в атмосферном воздухе выполнялось путем отбора проб воздуха медицинским шприцом на уровне вытянутой руки (высота отбора проб ~ 2 м). Также на участках I и III были взяты пробы атмосферного воздуха на разных высотах (до 30 м).

Для определения эмиссии метана, содержания метана в почвах и атмосферном воздухе проанализировано более 3000 проб.

Пробы почвенного и атмосферного воздуха, отобранные в полевых условиях, анализировались на газовом хроматографе Кристаллюкс 4000М с пламенно-ионизационным детектором и катарометром.

Лабораторные методы

Физические, физико-химические и химические свойства почв определялись по стандартным методикам. *Плотность, общая порозность и порозность аэрации* определялись буровым методом, *полевая влажность* – весовым методом, *гранулометрический состав* – пирофосфатным методом [Вадюнина, Корчагина, 1986], *удельная поверхность* – методом Кутелика [Терпелец, Слюсарев, 2010]. *pH водной вытяжки* измерялся потенциометрическим методом (в почвенной суспензии при соотношении 1:2,5). *Содержание органического углерода* – методом Тюрина в модификации Никитина, *легкорастворимых солей* – анализом водной вытяжки [Аринушкина, 1970; Теория и практика..., 2006]. *Содержание карбонатов* определялось волюметрическим методом по Голубеву [Практикум по почвоведению, 1980]. Всего проанализировано 224 образца.

Для определения биологических показателей образцы свежей почвы помещались в стерилизованные крафтовые пакеты и высушивались до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Далее – по приведенным ниже методикам.

Определение активности бактериального образования метана проводилось кинетическим методом по выделению газообразного метана в инкубируемых закрытых сосудах (принцип метода – [Методы почвенной микробиологии..., 1991]). Навески почвы массой 5 г (в двух повторностях) помещали в пенициллиновые флаконы объемом 15 мл, добавляли 1 мл дистиллированной воды (для вывода микроорганизмов из латентного состояния) и инкубировали в эксикаторе при комнатной температуре (20-22°C). Через одну неделю добавляли 0,12 г глюкозы, закрывали резиновыми крышками, герметизировали алюминиевыми колпачками и оставляли инкубироваться на месяц. Начальным процессом, происходящим во флаконах, является окисление глюкозы, как единственного источника углерода и энергии, аэробными микроорганизмами. Конечный продукт

окисления глюкозы в аэробных условиях – углекислый газ. Смена микробных популяций аэробов и анаэробов растягивается на месяц. Для активной жизнедеятельности строгих анаэробов, к числу которых принадлежат метаногены, необходимо отсутствие кислорода (который расходуется на окисление, в нашем случае глюкозы) и низкая величина ОВП, что требует герметичности сосудов культивирования, предупреждающей попадание кислорода из воздуха. Через месяц добавляли столько же глюкозы, растворенной в 1 мл дистиллированной воды. В анаэробных условиях глюкоза сбраживается с образованием органических кислот, спиртов и газов (CO₂, H₂, CH₄). Добавление глюкозы производится для предотвращения спада метаногенеза из-за нехватки субстратов. Через неделю пробы воздуха (1 мл) анализировали на газовом хроматографе.

Скорость метаногенеза (МГ) рассчитывали по формуле:

$$V (\text{нгCH}_4 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}) = (C \cdot K \cdot V_{\text{гф}}) / (m_{\text{п}} \cdot t), \quad (2)$$

где С – концентрация метана во флаконах, ppm; К- коэффициент пересчета концентрации в мг/м³ (K=0,657 при 20°C), V_{гф} – объем газовой фазы во флаконе, см³ (V_{гф} = V_ф - m_п/ρ_в, V_ф – объем флакона (15 мл), ρ_в – плотность почвы, г/см³), m_п – масса почвы, t – время, прошедшее от первого добавления глюкозы до измерения на хроматографе, ч.

Определение потенциальной активности бактериального окисления метана (АБО) проводилось кинетическим методом по поглощению метана в инкубируемых закрытых сосудах (принцип метода – [Методы почвенной микробиологии..., 1991]). Навески почвы массой 15 г (в четырех повторностях) помещали во флаконы объемом 50 мл, добавляли 3 мл дистиллированной воды. Флаконы, поставленные в эксикатор, инкубировали при комнатной температуре (20-22°C) в течение 4 дней над водой для лучшего увлажнения и вывода микроорганизмов из латентного состояния. Затем флаконы закрывали резиновыми пробками и пластмассовыми крышками, после чего вводили метан, приблизительно 100%-ной

концентрации в количестве 0,2 мл (~4000 ppm). Измеряли его убыль в течение трех суток. Высокая начальная концентрация метана, используемая в приведенной методике, обусловлена особенностью объекта исследования – почвами, в которых содержание метана может быть значительным из-за аллохтонного притока данного газа из техногенных и природных газогенерирующих отложений.

В параллельном опыте проводилось измерение *абиотического поглощения метана*. Методика опыта аналогична описанной выше, только во флаконы перед добавлением метана в газовую фазу флаконов вводили ацетилен (3 мл) в качестве ингибитора процесса метаноокисления [Гвоздев, Акентьева, 1987; Bédard, Knowles, 1989].

Скорости метаноокисления и абиотического поглощения вычислялись по формуле:

$$V (\text{нгCH}_4 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}) = (dC \cdot K \cdot V_{\text{гф}}) / (m_{\text{п}} \cdot t), \quad (3)$$

где dC – разница концентраций при первом и последнем измерении, ppm; K – коэффициент пересчета концентрации в $\text{мг}/\text{м}^3$ ($K=0,657$ при 20°C), $V_{\text{гф}}$ – объем газовой фазы во флаконе, см^3 , $m_{\text{п}}$ – масса почвы, г, t – время, ч. При расчете скорости окисления метана $dC = dC \text{ без } \text{C}_2\text{H}_2 - dC \text{ с } \text{C}_2\text{H}_2$.

Содержание микробного углерода (C мик) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания [Ананьева и др., 2011]. Считается, что первоначальное увеличение дыхания после внесения питательного субстрата (глюкозы) в почву прямо пропорционально содержанию углерода в живой микробной биомассе. Для определения скорости субстрат-индуцированного дыхания навески сухой почвы массой 2 г помещали в пенициллиновые флаконы объемом 15 мл, увлажняли до 60% полной влагоемкости и инкубировали в течение недели при температуре 22°C . Перед измерением во флаконы добавляли раствор глюкозы (0,2 мл, конечная концентрация 10 мг глюкозы/г почвы), герметично закрывали и отбирали пробу воздуха для определения начальной концентрации CO_2 на хроматографе Кристаллюкс

4000M. Через 2-3 часа инкубации при 22°C отбирали еще одну пробу. Скорость СИД рассчитывали по разности концентраций и выражали в мкл $\text{CO}_2\text{-C}\cdot\text{г}^{-1}$ почвы $\cdot\text{ч}^{-1}$.

Углерод микробной биомассы (мкг $\text{C}\cdot\text{г}^{-1}$ почвы) рассчитывали по формуле [Anderson, Domsch, 1978]:

$$C_{\text{мик}} = \text{СИД} \cdot 40,04 + 0,37. \quad (4)$$

Базальное дыхание определяли по скорости выделения CO_2 почвой за 24 ч инкубации при 22°C и 60% полной влагоемкости. Скорость микробного дыхания выражали в мкг $\text{CO}_2\text{-C}\cdot\text{г}^{-1}$ почвы $\cdot\text{ч}^{-1}$.

Активность бактериального образования и окисления метана, абиотическое поглощение метана, углерод микробной биомассы определены в 224 образцах почв и ТПО.

2.3. Модельный эксперимент

Был проведен модельный эксперимент по выявлению возможностей применения специальных почвенных конструкций для предотвращения выбросов метана в условиях повышенного газопроявления в сезонной динамике.

Были созданы три почвенные конструкции для утилизации метана, представляющие собой слоистые системы, состоящие из нижнего газораспределительного (мощность 10 см) и верхнего метанооксиляющего слоев (20 см), между которыми расположена прослойка из опилок для предотвращения вымывания биофильных элементов (Рис. 6).

Метанооксиляющим слоем являлись органо-минеральные смеси с различными органическими субстратами – компостом и торфом. Компост является одним из самых часто используемых субстратов в биофильтрах, применяемых для предотвращения выбросов метана с полигонов ТБО по всему миру [Jäckel et al., 2005; Mor et al., 2006; Nikiema et al., 2007; Wilshusen et al., 2004]. Торф использовали, т.к. известно, что его населяют истинные метанотрофы. Об этом свидетельствуют и результаты анализа ДНК,

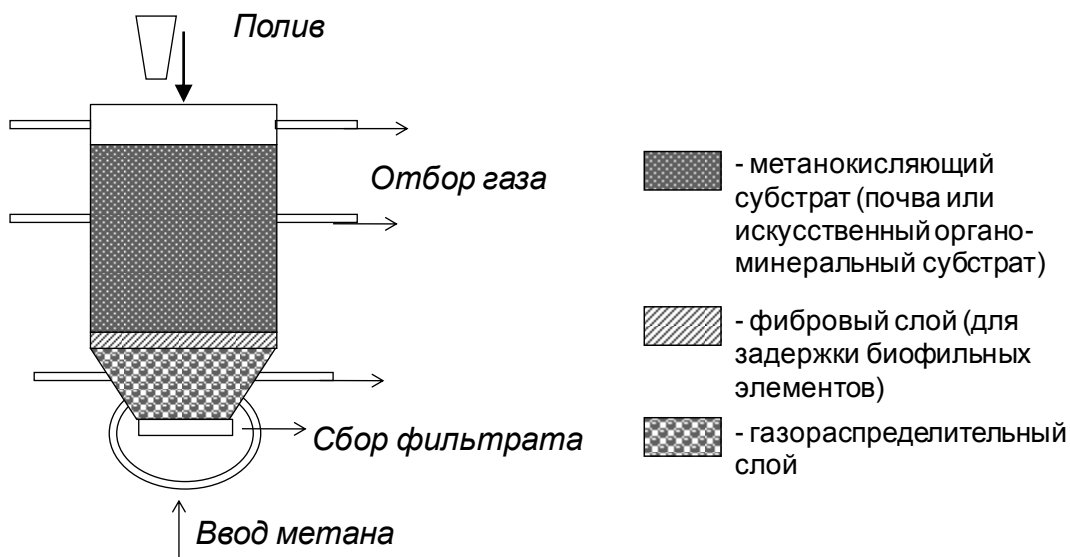


Рис. 6. Строение искусственных почвенных конструкций.

показавшие наличие в составе тотальной ДНК генов, кодирующих ключевой фермент окисления метана – метанмонооксигеназу [McDonald et al., 1995]. В качестве минеральных компонентов использовались песок и каолиновая глина. Контрольным субстратом служил монолит гумусового горизонта агродерново-подзолистой легкосуглинистой почвы из зоны рассеяния углеводородных газов над подземным хранилищем природного газа (ПХГ) в Щелковском районе Московской области (описание почвы в приложении I). Известно, что почвы над ПХГ характеризуются высоким метаноокислением, т.к. за счет притока аллохтонного метана из газовой залежи в них формируется мощный бактериальный фильтр [Кулачкова, 2006; Можарова, 2009].

Модельный эксперимент проводился в течение 9 месяцев (с июня по март) и состоял из циклов по 4 дня. В конструкции 2 раза в неделю (в первый день цикла) через нижнюю трубку вводился метан приблизительно 100%-ой концентрации в количестве 10 мл (для достижения в конструкции концентрации CH_4 ~2,5 % об.). Затем в течение 4 дней измерялась концентрация по слоям и эмиссия CH_4 и CO_2 . Выбор именно такой концентрации вводимого метана обусловлен максимальными значениями

газопроявления, зафиксированного в почвах и грунтах на исследуемых участках (II и IV).

Для определения *концентрации* газов в конструкциях через боковые трубки отбирались пробы воздуха: в первый день цикла через 15 минут после ввода метана, а также через 24, 48 и 72 ч. Затем вновь в конструкции вводился метан, и измерения повторялись, как описано выше.

Измерение *эмиссии газов* проводилось следующим образом. Через 15 минут после ввода метана конструкции герметично закрывались сверху. Сразу после этого из камеры над поверхностью субстратов отбирались пробы воздуха для анализа на хроматографе. Повторный отбор проб проводился через 1 час после закрытия. Эмиссия газов рассчитывалась по формуле (1).

Скорость поглощения метана почвенными конструкциями определялась по формуле:

$$V \text{ (г}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{сут}^{-1}) = ((C_1-C_2)\cdot K\cdot V_{\text{гф}})/(m\cdot t), \quad (5)$$

где C_1 – концентрация вводимого метана, ppm; C_2 – концентрация метана в метанооксилющем слое на следующий день, ppm, K - коэффициент пересчета концентрации в мг/м³ ($K=0,657$ при 20°C), $V_{\text{гф}}$ – объем газовой фазы, м³, m – масса субстрата, г, t – время, сут.

Эффективность поглощения CH₄ рассчитывалась по формуле:

$$\text{Эф-ть, \%} = (C_1-C_2)/C_1\cdot 100, \quad (6)$$

где: C_1 – концентрация введенного метана, ppm, C_2 – концентрация метана, выделившегося с поверхности конструкции через 1 час после ввода, ppm.

Для воссоздания природных условий мы моделировали температурный и водный режим, характерный для Москвы и Московской области. Для поддержания *температурного режима* конструкции находились на улице, поэтому их температура определялась температурой окружающей среды. *Водный режим* обеспечивался искусственным поливом с июня по ноябрь, рассчитанным с учетом среднемесячных сумм осадков для Москвы [Среднемесячные..., 2015] (Табл. 3).

Табл. 3. Климатические условия эксперимента.

Показатель	Месяц									
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Температура, °С										
<i>среднемесячная</i>	+23,1	+27,6	+23,3	+14,7	+8,0	+1,0	+0,2	-5,5	-9,6	-0,7
<i>максимум</i>	+30	+33	+31	+18	+21	+8	+5	+3	+1	+5
<i>минимум</i>	+17	+20	+13	+9	+2	-5	-5	-16	-23	-8
Средняя сумма осадков, мм	75	94	77	65	59	58	56	42	36	34
Норма полива, мл	147	184	151	127	116	114	-	-	-	-

Каждую неделю проводилось измерение окислительно-восстановительного потенциала субстратов. В начале эксперимента и через каждые три месяца отбирали образцы для изучения физических, химических и биологических свойств субстратов. Плотность, порозность, гранулометрический состав, удельная поверхность, рН, содержание органического углерода, углерод микробной биомассы, активность бактериального образования и окисления метана определялись по методикам, описанным выше. Также в субстратах было определено содержание *общего азота* – методом Кьельдаля, *подвижных соединений фосфора* – методом Кирсанова, *подвижных соединений калия* – пламенно-фотометрическим методом [Теория и практика..., 2006].

Для оценки состояния микробных сообществ субстратов почвенных конструкций применяли *метод мультисубстратного тестирования (МСТ)*, в основе которого лежит анализ спектров потребления субстратов микробными сообществами [Горленко, Кожевин, 2005].

Для проведения МСТ использовали стандартные планшеты для иммунологических тестов, представляющие собой пластины из прозрачного пластика с 96 ячейками, содержащими 47 субстратов (сахара, спирты, соли органических кислот, аминокислоты, амины, амиды, нуклеозиды) в 2-х повторностях. Две ячейки были контрольными. В каждую ячейку был добавлен определенный питательный субстрат, набор минеральных солей,

тетразолий фиолетовый (индикатор потребления субстрата) и 0,2 мл почвенной суспензии после ультразвуковой обработки и центрифугирования.

Микрокюветы инкубировали 72 часа при температуре 28°C. При росте микроорганизмов в ячейках происходило восстановление неокрашенных солей тетразолия до бордовоокрашенного формазана. Регистрацию окраски осуществляли с помощью многоканального фотометра при 510 нм.

Расчет показателей и индексов функционального разнообразия микробных сообществ проводился по трехпараметрической модели рангового распределения потребления субстратов:

$$F(n) = E_0 - b * e^{-n} * d^n, \quad (7)$$

где $n = \ln(N)$, N – номер ранга; $F(n) = \ln(y_N)$, y_N – интенсивность потребления субстрата ранга N , e – основание натурального логарифма, E_0 , b , d – параметры.

Начальные физические и химические свойства метанооксиляющих субстратов отражены в Табл. 4.

Табл. 4. Начальные свойства метанооксиляющих субстратов.

Параметр \ Метанооксиляющий субстрат	Почвенный монолит	С компостом	С торфом
Плотность, г/см ³	1,54	1,33	1,36
Гранулометрический состав	супесчаный	супесчаный	супесчаный
Общая порозность, %	38,4	46,8	45,7
Удельная поверхность, м ² /г	38,7	54,9	44,3
pH	6,9	6,0	6,7
C орг, %	1,60	1,51	2,06
N общ, %	0,13	0,12	0,10
C:N	12,3	12,6	20,6
P ₂ O ₅ , мг/100 г	10,1	14,7	21,7
K ₂ O, мг/100 г	0,4	12,6	7,6

Обработка полученных данных

Для анализа полученных результатов были использованы следующие методы математической статистики: описательная статистика; сравнение средних по параметрическому критерию Стьюдента (t-критерий) и

непараметрическому критерию Манна-Уитни; корреляционный анализ с применением рангового коэффициента корреляции Спирмена, однофакторный дисперсионный анализ. В тексте, таблицах и на графиках представлены средние \pm ош. сред., если не указано иное.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась в программах StatSoft Statistica (v.10.5) и Microsoft Excel, построение карт – в программе MapInfo (v.11.5). Названия природным почвам даны по «Классификации и диагностике почв России» [2004], антропогенным – по классификации, предложенной коллективом авторов [Прокофьева и др., 2011, 2014]. В работе были использованы топографические карты и материалы геологической и гидрологической съемки участков, предоставленные ООО НПЦ «Экостройгеология».

ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Климатические условия

Климат Московского региона умеренно-континентальный, характеризуется невысокими амплитудами суточных и сезонных изменений температуры воздуха, достаточно равномерным распределением по сезонам количеством выпадающих осадков, преобладанием облачной погоды и преимущественно циклоническим характером циркуляции атмосферы. Зима довольно продолжительная и сравнительно холодная, лето умеренно теплое. Максимум осадков наблюдается летом, минимум – зимой [Доклад «О состоянии...», 2015].

Средняя годовая температура в Москве и Московской области колеблется от +3 до +5°C. Средняя температура самого теплого месяца (июля) в Москве составляет +19,2°C. По наблюдениям 1981-2010 гг. самым холодным месяцем года в Москве является февраль (его средняя температура составляет -6,7°C), практически такой же холодный месяц январь (со средней температурой -6,5°C), ранее наиболее холодным месяцем был январь (по нормам 1961-1990 и 1971-2000 гг.) [Климат Москвы, 2004-2017]. В Московской области средняя температура июля колеблется с +17,0 до +18,5°C, января - от -9,5 до -11,5°C. Переход среднесуточной температуры через 0°C наблюдается в первой декаде ноября, и холодный период продолжается до конца марта. Почва промерзает на глубину в среднем от 0,4 до 1,0 м. Начало вегетационного периода наступает со второй половины мая. К этому времени почва оттаивает полностью. Лето отличается достаточно устойчивой погодой. Переход к осени происходит сравнительно медленно. В первой половине октября заканчивается вегетационный период. Безморозный период длится в среднем 125-135 суток [Почвы Московской области..., 2002].

По условиям увлажнения Московский регион относится к районам достаточного увлажнения для вегетации растений. За год в Москве и

прилегающих территориях выпадает 600-800 мм осадков. Минимальное их количество выпадает в феврале-апреле (35-40 мм). Наибольшее количество осадков (75-90 мм) приходится на летний период и совпадает с периодом наиболее высоких температур воздуха, с бурным развитием растительности, следовательно, с максимальным расходом влаги. По среднегодовым показателям влагообеспеченность растений считается достаточной. Гидротермический коэффициент составляет 1,2-1,6. Однако в отдельные месяцы вегетационного периода испаряемость может преобладать над осадками [Почвы Московской области..., 2002; Исаев, 2006].

Воздушный режим территории имеет свои особенности: воздушные потоки как бы стекаются в центральную часть города, принося с собой атмосферные осадки или зной. Во многом это обусловлено особенностями рельефа и разницей температур в центре столицы и периферии. Среднегодовая скорость ветра – 2,3 м/сек. В холодный период года преобладают западные и юго-западные ветры, также высока повторяемость ветров южного и юго-восточного направления. В теплый период – увеличивается повторяемость северного и северо-восточного ветров. В среднем изменение направления ветра по сезонам невелико [Доклад «О состоянии...», 2015].

3.2. Растительность

Москва располагается на стыке трех геоботанических районов, выделенных В.В. Алехиным [1947]. На севере и северо-западе города на отрогах Клинско-Дмитровской гряды распространены смешанные елово-широколиственные леса, в южной части на Теплостанской возвышенности – широколиственные леса, а восточная часть города лежит в пределах сосново-болотного района [Экологический атлас..., 2000]. Исследуемые участки располагаются в западной части города или примыкают к его западным границам, таким образом, относятся к первым двум геоботаническим районам.

Однако на территории Москвы естественная растительность практически не сохранилась. В ходе застройки города природные сообщества были существенно преобразованы или уничтожены полностью. Только в старых лесопарках и парках города можно встретить фрагменты естественных растительных сообществ. Естественную растительность заменили искусственные насаждения (сады, парки, скверы и бульвары), определяющие облик города [Климат, погода..., 1995].

Растительность участка I на территории Московского университета крайне разнообразна. В лесопарке на Большом газоне она представлена: в древесном ярусе кленом платановидным, дубом черешчатым, липой сердцелистной, березой повислой, рябиной обыкновенной, яблонями (все деревья были посажены после строительства университета); в подлеске встречаются жимолость лесная и бересклет бородавчатый; в травяном ярусе – виды, характерные для ненарушенных лесных экосистем, и сорные растения (одуванчик лекарственный, гравилат городской, крапива двудомная, купырь лесной, вербейник монетчатый, лопух большой, подорожник большой, сныть, звездчатка, тысячелистник обыкновенный, манжетка, ежа сборная, мятлик луговой и др.). Растительность Ботанического сада представляет собой искусственные посадки растений, характерных как для южной тайги, так и других природных зон. На бульварах и газонах вдоль дорог посажены липы, ели, рябины, каштаны, лиственницы, клены и др., травянистая растительность включает разнообразные газонные злаки с примесью сорных растений.

На участке II растительность отсутствовала полностью в связи с запечатанностью территории и засыпкой техногенными грунтами.

На участке III на момент исследований местами сохранились посадки берез, елей и пихт, а также травянистая растительность на газонах, представленная злаками с примесью сорных растений (одуванчик лекарственный, клевер луговой, пырей ползучий, хвощ луговой,

тысячелистник обыкновенный, крапива двудомная, подорожник большой и др.).

На участке IV на Павшинской пойме р. Москвы до 2003 года выращивались сельскохозяйственные культуры. На нераспаханных участках сформировалось луговое сообщество с примесью сорных видов. В результате инженерной подготовки территории под строительство естественная растительность практически полностью была уничтожена. На техногенных грунтах со временем поселились рудеральные виды растений (одуванчик лекарственный, пижма обыкновенная, лапчатка гусиная, тысячелистник обыкновенный, мать-и-мачеха обыкновенная, клевер луговой, ромашка непахучая, полынь обыкновенная, мятлик луговой, лисохвост луговой и др.). Ненарушенная растительность сохранилась на небольших участках вдоль рек Москвы и Баньки. На низкой пойме р. Москвы растительность представлена различными видами осок и ив. В ходе благоустройства застроенных кварталов были созданы газоны с различными злаками и примесью сорных растений (одуванчик лекарственный, подорожник большой, лапчатка гусиная, тысячелистник обыкновенный, клевер луговой и др.).

Участок V. На пойме р. Сетунь до засыпки техногенными грунтами существовало луговое сообщество. В древесном ярусе встречались разнообразные ивы, осина обыкновенная, на сухих участках – береза повислая, в травяном - злаки, герань луговая, сныть обыкновенная, колокольчик раскидистый, клевер луговой и др. На момент исследований естественная растительность сохранилась на небольшой площади в восточной стороне участка. В дальнейшем она была уничтожена в процессе инженерной подготовки территории под строительство.

3.3. Геоморфология и геологическое строение

Современная Москва включает в себя территории трех ландшафтно-геоморфологических провинций: северо-западная часть – низкие отроги Смоленско-Московской возвышенности, восточная часть – Мещерскую

низменность, юго-западные и южные районы – Москворецко-Окскую равнину. Долины рек Москвы и Яузы являются естественными границами между физико-географическими областями [Москва. Геология и город, 1997].

Участок I располагается на северной окраине Теплостанской возвышенности, которая относится к провинции Москворецко-Окской равнины. Поверхность возвышенности имеет ступенчатый характер. Нижние ступени перекрыты флювиогляциальными и озерно-ледниковыми отложениями и представляют собой флювиогляциальную равнину. Высокие ступени перекрыты моренами московского и днепровского оледенений. Теплостанская возвышенность расчленена глубокими эрозионными долинами, оврагами и балками, на склонах которых часто происходят оползни. Господствующие высоты составляют 175-250 м над у.м. [Экологический атлас..., 2000; Почвы Московской области..., 2002], непосредственно на исследуемой территории - 180-190 м над у.м.

Исследуемая территория приурочена к моренной равнине. Верхняя часть грунтовой толщи сложена техногенными грунтами, образованными при строительстве Московского университета. Под ними залегают покровные пылеватые глины и тяжелые суглинки. Далее - моренные отложения московского и днепровского оледенений, нижнемеловые пески и супеси и юрские глины [Семихатов, 1955; Строганова, Раппопорт, 2005; Лукашов, 2008]. Мощность техногенных грунтов в Ботаническом саду МГУ до 1 м [Раппопорт, 2004], на остальной территории – не превышает 5 м [Лихачева, 2007]. Грунты содержат небольшое количество строительного мусора (до 5%).

Участок II относится к провинции Смоленско-Московской возвышенности, представляющей собой аккумулятивно-эрозионную равнину. Равнина слабо расчленена. На фоне плоских участков, сложенных флювиогляциальными отложениями, выделяются отдельные пологие моренные холмы. Долины рек в ее пределах хорошо разработаны.

Абсолютные высоты не превышают 170-190 м над у. м. [Москва. Геология и город, 1997].

Непосредственно участок исследований расположен на засыпанной пойме р. Фильки. Абсолютные высоты до засыпки техногенными грунтами составляли 168-172 м над у.м., после – до 175 м над у.м. На участке повсеместно встречаются техногенные отложения мощностью 2,5-6,5 м. Они представлены минеральным и органическим материалом. Среди первых выделяются неоднородные по гранулометрическому составу отложения: пески, суглинки и супеси, с крошкой и обломками кирпича, бетона, гравия и щебня скальных пород. Среди вторых отмечается доминирование щепы древесины, часто обуглившейся, слежавшейся и повсеместно влажной. В нижней части техногенной толщи (на глубине 4-6 м) располагается газогенерирующий слой с высоким содержанием органического вещества. Под техногенными грунтами залегают современные аллювиальные отложения, представленные серыми песками с гравием и щебнем, средней плотности, в разной степени насыщенные водой. Далее выделяются флювиогляциальные песчанистые и глинистые породы, затем моренные и, наконец, коренные отложения. Органических слоев и горизонтов в толщах природных отложений не отмечается.

Участок III приурочен к склону аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь, её притоков и сетью оврагов. Рельеф данного участка претерпел значительные техногенные изменения. Он был полностью спланирован насыпными грунтами в 70-80-х гг. XX века после включения территории в состав г. Москвы. В результате засыпки мелких оврагов, болот и стариц была значительно снижена густота расчленения поверхности, а за счет площадных подсыпок изменены абсолютные отметки и относительные превышения поймы и равнины. Абсолютные высоты до засыпки территории варьировали от 125 до 135 м над у.м., после проведения инженерной подготовки увеличились до 140-142 м над у.м.

На участке повсеместно встречаются техногенные насыпные грунты мощностью от 10 до 18 м. Толща представлена песками, супесями и суглинками с включениями строительного мусора (крошка и обломки кирпича, бетона, арматуры, гравий и щебень, древесина, стекло). Нижняя часть разреза техногенных отложений обводнена (до 50% толщи). Далее залегают аллювиальные отложения, представленные суглинками и песками. Местами встречаются линзы слаборазложившихся торфов коричневого цвета, с остатками растений и древесины. Нижняя часть аллювиальной толщи сложена водонасыщенными песками серого и желтовато-серого цвета. Ниже залегают песчаные и супесчаные нижнемеловые и юрские отложения (алевриты, глинистые алевриты и глины).

Участок IV располагается на Павшинской пойме р. Москвы. Ключевые участки были заложены на низкой и центральной пойме. Центральная пойма на одном из участков осложнена влиянием притока р. Москвы р. Банькой, на другом – заболоченностью. Абсолютные высоты до засыпки составляли 123-127 м над у.м.

На момент исследований практически вся территория поймы была отсыпана техногенными грунтами, представляющими собой преимущественно суглинки с прослоями песка и включением до 30% строительного и бытового мусора (битый кирпич, обломки бетона, арматуры, стекло, пластик, полиэтилен, древесина и др.). Мощность насыпи варьирует от 0,5 до 7,3 м. Абсолютные отметки поверхности после засыпки поймы были увеличены до 128-134 м над у.м. Под техногенными грунтами залегают аллювиальные отложения, представленные чередованием слоев суглинка и/или глины с песками разной крупности, ниже - известняково-мергелистые каменноугольные отложения и юрские глины. В толще аллювиальных отложений встречаются слои, содержащие включения органики и плохо разложившихся растений, а также слои торфа и сапропели.

Участок V располагается в пределах левобережной долины р. Сетунь на заболоченной пойме. Рельеф участка неровный, с общим уклоном в сторону

реки. На большей части исследуемой территории была проведена отсыпка техногенных грунтов. Они имеют мощность 0,7-4,7 м и представляют собой преимущественно суглинки, местами опесчаненные, неоднородной окраски, в основном темно-бурой, с различным количеством темно-серых, ржавых пятен. Отмечается значительное количество камней, включений строительного мусора: битого кирпича, железных обломков, древесины и др. По геологическим данным, под слоем техногенных грунтов распространены современные аллювиальные отложения, представленные песками, суглинками и глинами. Редко встречаются слои торфа (мощностью 0,6-2,2 м). Под современными аллювиальными отложениями залегают верхнечетвертичные аллювиальные отложения, представленные суглинками и песками. Флювиогляциальные отложения вскрыты в южной части исследуемой площадки, вдоль реки, и представлены опесчаненными суглинками и песками с включением гравия и гальки. Под ними залегают суглинистые моренные и нижнемеловые отложения. Абсолютные отметки поверхности с учетом планировки техногенными грунтами составляют 140-146 м над у.м.

3.4. Почвообразующие породы

Почвообразующие породы всех исследованных участков можно разделить на две группы:

1. Техногенные грунты, используемые для выравнивания поверхностей и понижения уровня грунтовых вод, являются почвообразующими породами на большей части исследованных территорий. Данные грунты представлены привезенным переотложенным материалом, они неоднородны по гранулометрическому и минералогическому составу, физико-химическим свойствам, содержат разное количество строительного и бытового мусора. Наиболее часто насыпные грунты представлены суглинками с включением строительного мусора до

30% (битый кирпич, обломки бетона, арматуры, древесина, битое стекло, пластик и др.).

2. Аллювиальные отложения пойм больших и малых рек являются почвообразующими породами на небольших участках, не преобразованных в ходе инженерной подготовки территорий. Представлены, как правило, суглинками и песками разной крупности.

3.5. Почвенный покров

Почвенный покров исследованных участков представлен природными и антропогенно преобразованными почвами и техногенными поверхностными образованиями (ТПО). Описания разрезов приведены в Приложении I.

Участок I

Исследования проводились на участках разного функционального назначения: придорожных газонах, в парковой зоне и Ботаническом саду.

На газонах вдоль дорог и придорожных озеленительных полосах распространены *урбаноземы (в т.ч. маломощные) и серогумусовые техногенные почвы* (Рис. 7а).

Профиль почв состоит из гумусово-аккумулятивного горизонта (U или AYur) мощностью 10-20 см у серогумусовых почв и маломощных урбаноземов, до 60 см – у типичных урбаноземов, залегающего на техногенном горизонте ТСН. Гранулометрический состав верхних горизонтов преимущественно среднесуглинистый с высоким содержанием ила (15-17%), нижних – варьирует от среднесуглинистого до песчаного. Плотность верхних горизонтов 1,1 г/см³, в горизонтах ТСН увеличивается до 1,2 г/см³. Удельная поверхность снижается по профилю с 110-130 м²/г в верхних горизонтах до 50-90 м²/г в нижних. Реакция почв нейтральная (рН_{Н2О} 6,5-7,5). Окислительно-восстановительный потенциал умеренно окислительный (Eh 560-570 мВ), не наблюдается его заметного снижения с глубиной. Содержание органического углерода падает вниз по профилю, в

верхних горизонтах оно составляет 2,3-2,8%, в нижних – 0,5-0,7%. Наблюдается загрязнение почв карбонатами: в горизонтах U и AYur – 0,4-0,5%, в горизонтах TCH сильно варьирует (от 0,1 до 1,6%) (приложение II).

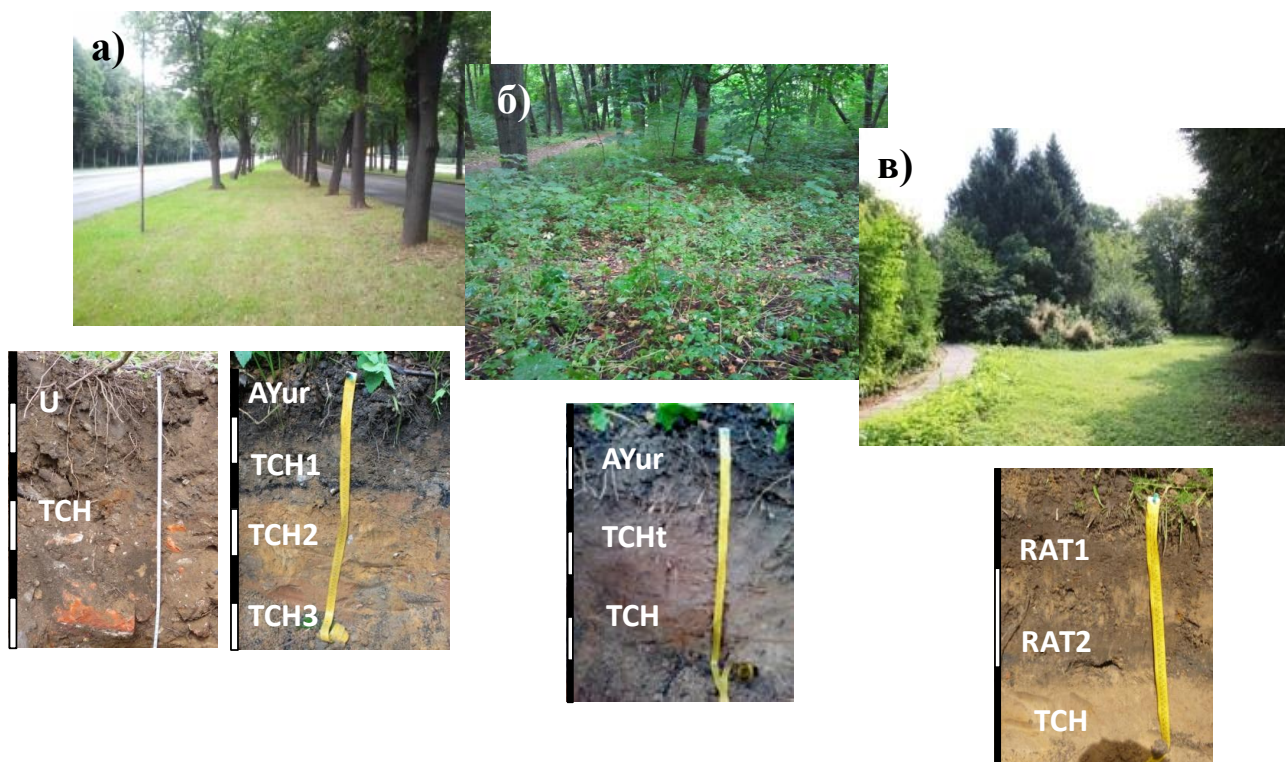


Рис. 7. Общий вид, почвы и ТПО участка I.

Почвенный покров в парковой зоне представлен серогумусовыми техногенными почвами (Рис. 7б). Они состоят из горизонта AYur мощностью около 10 см и техногенных горизонтов TCH. Под древесным пологом вдали от крупных источников антропогенного воздействия часто наблюдается процесс лессиважа, проявляющийся в виде кутан по граням структурных отдельностей и увеличении содержания ила в средней части профиля.

Гранулометрический состав почв суглинистый, плотность верхних горизонтов $0,9 \text{ г/см}^3$, нижних – $1,2 \text{ г/см}^3$. Удельная поверхность достаточно велика во всем профиле и составляет $127-155 \text{ м}^2/\text{г}$, закономерно с утяжелением гранулометрического состава. Почвы имеют слабокислую реакцию среды ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 5,6-6,0$). Окислительно-восстановительный потенциал умеренно и интенсивно окислительный (570-670 мВ). Содержание С орг в верхних горизонтах составляет 3,9% и постепенно снижается вниз по

профилю (0,7% в средней части, 0,1% - в нижней) (приложение II). Наблюдается повышенное содержание карбонатов (0,3-0,5%) даже в почвах, расположенных в глубине участка. Вероятно, это обусловлено свойствами техногенных пород, на которых почвы были сформированы, а также загрязнением кальцийсодержащей пылью, источником которой мог служить работающий на Ломоносовском проспекте до 2005 года строительный комбинат [Стома, Ахадова, 2015].

Почвенный покров Ботанического сада МГУ представлен урбо-дерново-подзолистыми почвами, урбаноземами маломощными, агрокрекраземами, рекреаземами и реплантоземами [Раппопорт, 2004]. Во вскрытом нами разрезе были описан *рекреазем маломощный* (Рис. 7в), состоящий из серии рекультивационных горизонтов RAT коричневатого-серого цвета с хорошо выраженной комковатой структурой, общей мощностью 18 см, залегающих на техногенном материале. Гранулометрический состав горизонтов RAT среднесуглинистый, плотность около 1 г/см³. При переходе к горизонту ТСН плотность несколько увеличивается (до 1,1 г/см³). Удельная поверхность одинакова во всем профиле и составляет около 100 м²/г. Реакция среды слабокислая в верхней части профиля и нейтральная – в нижней (рН_{Н2О} 6,1 и 6,5, соответственно). Интенсивно окислительный потенциал (613±5 мВ) рекультивационных горизонтов незначительно снижается в нижней части профиля (до 590 мВ). Содержание органического вещества в горизонтах RAT составляет порядка 3,5%. ТПО не содержат большого количества карбонатов (0,1%) (приложение II).

Участок II

Большая часть (около 80%) участка II запечатана асфальтобетонным покрытием. На оставшейся незапечатанной территории распространены *литостраты* (1) легкосуглинистого, супесчаного и песчаного гранулометрического состава, часто с признаками оглеения, на сохранившихся газонах – *реплантоземы* (2) (Рис. 8).



Рис. 8. Общий вид и почвы участка II.

Литостраты отличаются высокой каменистостью и щебнистостью, содержат большое количество (до 30%) антропогенных включений, представленных строительным и бытовым мусором (арматура, кирпич, бетон, проволока, древесина, полиэтилен, батарейки). Техногенные поверхностные образования данного участка, по-видимому, испытывают влияние «верховодки» и находятся в зонах периодического подтопления, на что указывает частая оглеенность нижней части профиля. Удельная поверхность представленных ТПО невелика и составляет 9-36 м²/г. Реакция среды слабощелочная и щелочная (рН_{H2O} 7,2-8,9). Содержание органического углерода варьирует от 0,2 до 3,4%, содержание карбонатов - 0,3-0,8% (приложение III).

Реплантоземы состоят из органоминерального горизонта RAT, залегающего на техногенной основе. Горизонт RAT темно-серого цвета имеет мощность 8 см и комковатую структуру, характеризуется среднесуглинистым гранулометрическим составом, более высокой удельной

поверхностью ($60 \text{ м}^2/\text{г}$) и содержанием органического углерода 2,1% (приложение III).

Участок III

Почвенный покров участка III характеризуется неоднородностью и разным возрастом почв и ТПО. На старых газонах, созданных около 40 лет назад, распространены *урбаноземы маломощные (U-TCH)* (1), *серогумусовые техногенные почвы (AYur-TCH)* (2), на более молодых газонах – *реплантоземы (RAT-TCH1,2...)* (3), на участках строительства – *литостраты (TCH1-(TCH2-TCH3))* (4) и *органолитостраты (TCH1-RATпогр.-TCH2)* (5) (Рис. 9).

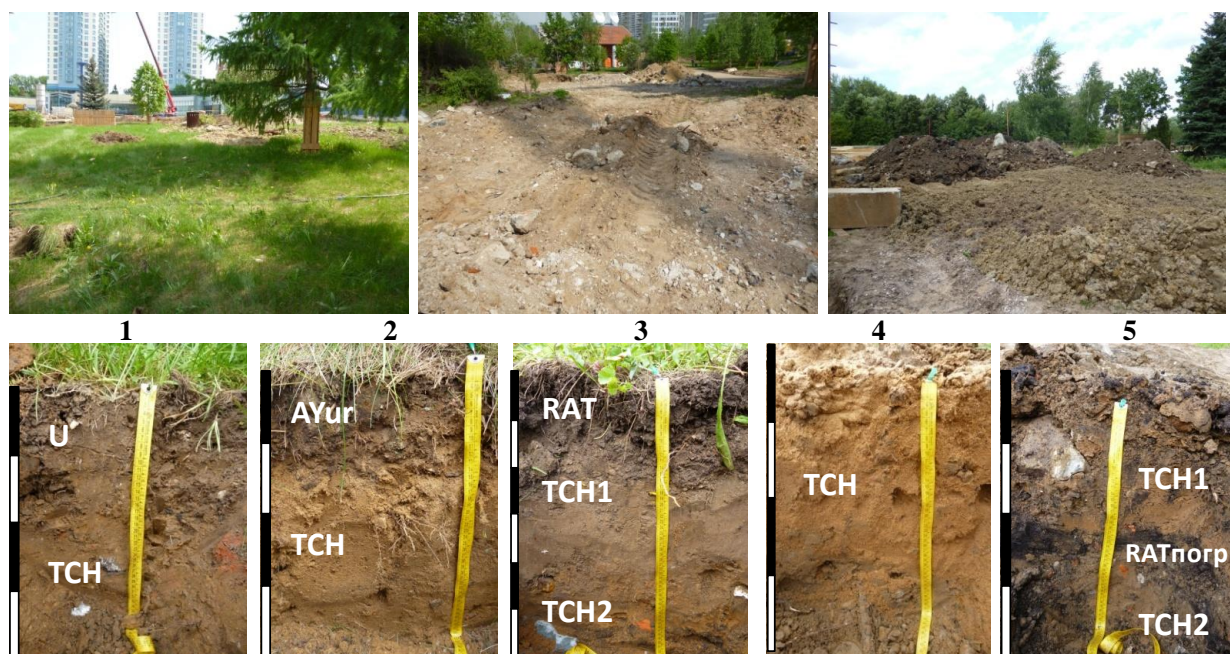


Рис. 9. Общий вид и почвы (ТПО) участка III.

Горизонты урбик (U) мощностью 9-11 см имеют серовато-бурую окраску, содержат более 10% антропогенных включений (битый кирпич, стекло, мелкие и средние камни). Они обладают комковато-глыбистой структурой, суглинистым гранулометрическим составом, повышенной плотностью сложения ($1,2-1,6 \text{ г}/\text{см}^3$), небольшой удельной поверхностью ($80-90 \text{ м}^2/\text{г}$), нейтральной до слабощелочной реакцией среды, слабоокислительным потенциалом, содержат 2,5-2,7% органического

вещества, до 0,8% карбонатов, характеризуются слабым засолением (содержание легкорастворимых солей по плотному остатку 0,17%).

Серогумусовые горизонты (AYur) имеют буровато-серую окраску, комковатую структуру, содержат меньшее по сравнению с горизонтом U количество включений. Они характеризуются легкосуглинистым гранулометрическим составом, повышенной плотностью (1,3-1,6 г/см³). Удельная поверхность варьирует с 70 до 150 м²/г. рН нейтральный, условия среды слабоокислительные. Содержание С орг изменяется в зависимости от возраста горизонта и составляет 1,6-4,6%. Содержание карбонатов меньше по сравнению с горизонтом U (0,14-0,55%), легкорастворимых солей – 0,09-0,21%.

Рекультивационные горизонты RAT состоят из растительных остатков разной степени разложенности и минерального компонента. Имеют темно-серую окраску, комковатую структуру. Обладают супесчаным гранулометрическим составом, плотностью около 1,2 г/см³, удельной поверхностью 80 м²/г. Они характеризуются нейтральной реакцией среды и слабоокислительным потенциалом. Содержат значительное количество органики (до 5,6%), в погребенных горизонтах – до 5,5% С орг. Загрязнены карбонатами (0,5%) и легкорастворимыми солями (0,3%).

Техногенные горизонты ТСН характеризуются крайней неоднородностью свойств. Окраска неоднородная, как правило, буровато-серых оттенков с большим количеством пятен. Гранулометрический состав варьирует от супесчаного до тяжелосуглинистого. Горизонты, как правило, испытывают сильное уплотнение (1,5-2,2 г/см³). Удельная поверхность варьирует в зависимости от гранулометрического состава с 7 до 190 м²/г. Реакция среды от нейтральной до щелочной. Окислительно-восстановительный потенциал слабоокислительный. Содержание органического вещества неоднородно, варьирует от 0,1-3,4%. Содержание карбонатов достаточно велико (0,3-2,0%). Горизонты содержат легкорастворимые соли (до 0,27%). Горизонты ТСН обладают повышенной

каменистостью и содержат большое количество антропогенных включений (битый кирпич, обломки бетона, арматуры, древесину, стекло, пластик, битое стекло, резину, пенопласт, уголь и др.) (приложение IV).

Участок IV

Изначально на территории долины р. Москвы в районе Павшинской поймы были распространены дерново-подзолистые (1), аллювиальные серогумусовые (2) и аллювиальные перегнойно-глеевые почвы (3) (Рис. 10).

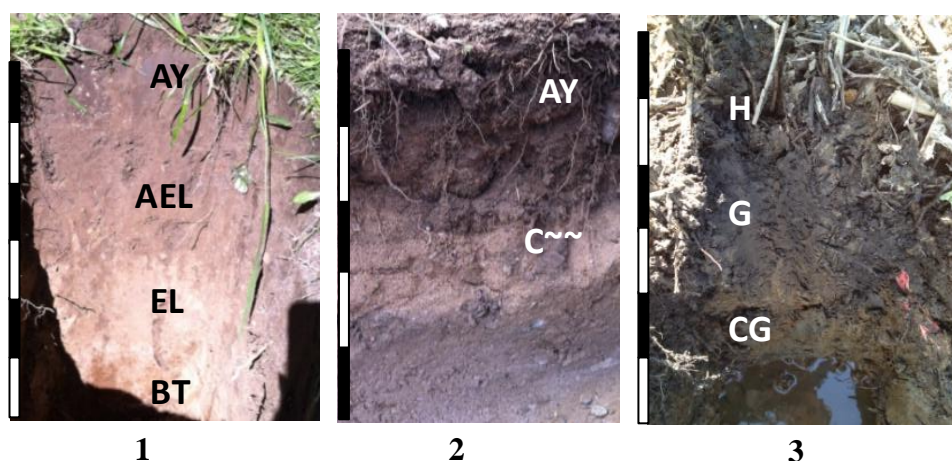


Рис. 10. Естественные почвы на участке IV.

Аллювиальные серогумусовые почвы приурочены к центральной пойме р. Москвы и пойме р. Баньки. Профиль состоит из гумусового горизонта (AY) буровато-серых тонов мощностью 20-30 см, с комковатой структурой, сформированном на слоистых аллювиальных отложениях. Гранулометрический состав горизонтов AY преимущественно супесчаный, содержание ила 4,6-8,6%. Удельная поверхность 109,9-182,5 м²/г. Реакция среды варьирует от слабокислой (рН_{Н2О} 5,7) до нейтральной (рН_{Н2О} 7,3). Содержание С орг составляет 1,1-2,6% (приложение V).

Аллювиальные перегнойно-глеевые почвы приурочены к низкой пойме и заболоченным участкам центральной поймы – наиболее пониженным и влажным ее частям, за счет этого профиль в течение долгого времени насыщен водой. Профиль характеризуется наличием с поверхности черного мажущегося перегнойного горизонта (H) с творожистой структурой,

мощностью около 10 см, переходящего в глеевый горизонт (G) сизого цвета с ржавыми и черными пятнами.

Гранулометрический состав перегнойного горизонта легкосуглинистый, глеевого и переходного – супесчаный и связнопесчаный. Содержание ила незначительно снижается вниз по профилю с 7,8 до 6,8%. Удельная поверхность существенно падает от перегнойного горизонта к глеевой толще (321,8 и 35,0 м²/г, соответственно). Почвы имеют нейтральную реакцию среды (рН_{H2O} 6,6-7,7). Содержание органического вещества в горизонте H около 5,0%, в горизонтах G и CG снижается до 1,3 и 0,5%, соответственно. На данный момент аллювиальные перегнойно-глеевые почвы сохранились узкими полосами на ненарушенных участках низкой поймы р. Москвы и Баньки.

Дерново-подзолистые почвы приурочены к возвышенным участкам поймы и надпойменным террасам, на момент исследований они сохранились на небольших участках вдоль Волоколамского ш., не затронутых деятельностью человека. Гумусовый горизонт (AY) буровато-серых тонов, с комковато-порошистой структурой, мощностью около 10 см. Под ним расположен достаточно мощный (20 см) переходный горизонт (AEL) белесовато-серого цвета, с порошисто-комковатой структурой с признаками горизонтальной делимости. Элювиальный горизонт (EL) палевый, мощностью около 25 см, с плитчатой структурой. Тектурный горизонт (BT) коричневатобурый, с призматично-ореховатой структурой и выраженными кутанами.

Гранулометрический состав гумусового горизонта супесчаный, нижележащих горизонтов – легкосуглинистый. Наблюдается дифференциация профиля по илу (6,0- 5,4- 4,4-6,3% в горизонтах AY-AEL-EL-BT, соответственно). Удельная поверхность в гумусовом горизонте 150,8 м²/г, существенно снижается в элювиальных горизонтах (до 61,9 м²/г) и несколько увеличивается в иллювиальном (99,6 м²/г). Реакция почвы нейтральная (рН_{H2O} 7,0-7,5). Содержание органического углерода

уменьшается от 1,8% в верхней части профиля до 0,1% в нижней (приложение V).

В ходе инженерной подготовки территории под строительство были сформированы техногенные поверхностные образования (ТПО) – литостраты (1), органолитостраты (2) и артиурбистраты – техногенные отложения, не затронутые процессами почвообразования. Со временем ТПО зарастают сорной растительностью с формированием *пелоземов* (3) (Рис. 11).

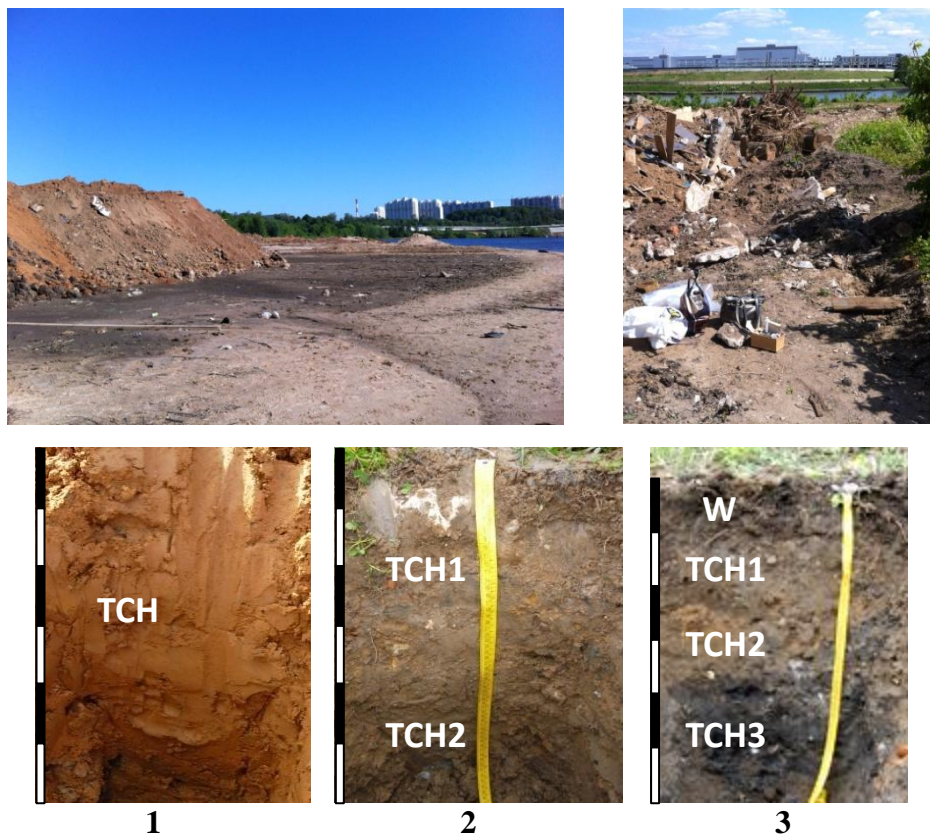


Рис. 11. Общий вид территории во время засыпки поймы техногенными грунтами; ТПО и слабо развитые почвы участка IV.

Литостраты представляют собой насыпные минеральные грунты, органолитостраты – смешанный несортированный органо-минеральный материал, артиурбистраты – бытовые отходы свалок [Классификация и диагностика..., 2004]. Техногенные поверхностные образования состоят из одного или нескольких техногенных горизонтов ТСН, характеризующихся крайней неоднородностью состава и свойств. Они имеют различную окраску, как правило, бурых и серых тонов. Гранулометрический состав варьирует от

песчаного до глинистого. Содержание ила также существенно различается и составляет от 2 до 30%. Физические свойства горизонтов ТСН в целом неблагоприятны. Горизонты ТСН содержат большое количество включений строительного и бытового мусора (битый кирпич, обломки бетона, арматуры, железного лома, древесину, стекло, пластик, полиэтилен и др.). Наблюдается повышенная каменность и плотность (более $1,6 \text{ г/см}^3$), низкая порозность (33-46%). Удельная поверхность сильно варьирует в зависимости от гранулометрического состава и составляет $16-390 \text{ м}^2/\text{г}$ (коэффициенты корреляции с содержанием физической глины и ила составляют 0,69 и 0,43, соответственно (значимы при $p < 0,05$)). Часто горизонты имеют признаки оглеения, обусловленные как подтоплением близко залегающими грунтовыми водами, так и неблагоприятными физическими свойствами самих горизонтов. Реакция среды от нейтральной до щелочной. Окислительно-восстановительный потенциал, как правило, слабо-окислительный. Содержание органического вещества неоднородно, варьирует от 0,1-2,3% в литостратах, увеличиваясь до 4% в органолитостратах. Содержание карбонатов также значительно варьирует (0,3-2,4%) и зависит от источников материала, из которых горизонт создан (приложение V).

Со временем на техногенных поверхностных образованиях поселяется сорная растительность, способствующая развитию слабо развитого гумусового горизонта (W) мощностью около 6 см, превращая ТПО в *пелоземы*. Горизонты W наследуют свойства техногенных субстратов, на которых они формируются. Содержание Сорг в них варьирует от 0,3 до 1,5%.

Если зарастающие техногенные грунты не подвергаются какому-либо антропогенному воздействию, то через 4-7 лет на них формируется серогумусовый горизонт с признаками урбопедогенеза (AYur) [Иванников, 2012]. Почвы можно характеризовать как *серогумусовые техногенные*. Мощность горизонта AYur составляет около 12 см. Он обладает большим по

сравнению с горизонтами W содержанием органического вещества (2,6%). Также наблюдается увеличение содержания ила (до 9,0%).

В ходе благоустройства и озеленения новых жилых кварталов на газонах были созданы *реплантоземы* путем нанесения плодородной органо-минеральной смеси (рекультивационные горизонты RAT) на спланированную поверхность (горизонт ТСН) (Рис. 12).



Рис. 12. Растительный покров и ТПО участка IV после благоустройства.

Горизонты RAT темно-серого цвета, с комковатой и комковато-порошистой структурой, мощностью 5-15 см. Часто содержат средне- и сильно разложившиеся растительные остатки. Имеют ровную или слабоволнистую границу и резкий или ясный переход к нижележащему техногенному горизонту.

Горизонты RAT имеют супесчаный или легкосуглинистый гранулометрический состав. Содержание ила варьирует от 5,1 до 11,4%. Плотность невелика и составляет 0,7-1,0 г/см³. Также они обладают высокой порозностью (около 70%). Удельная поверхность варьирует от 100 до 800 м²/г. Реакция среды от нейтральной до слабощелочной, что может объясняться загрязнением легкорастворимыми солями из противогололедных реагентов. Окислительно-восстановительный потенциал слабо- и умеренно окислительный. Содержание органического углерода варьирует от 3,1 до 7,8%, уменьшаясь с возрастом горизонта. Наблюдается повышенное содержание карбонатов (0,6-5,9%) (приложение V).

Участок V (пойма р. Сетунь)

На V участке до проведения инженерной подготовки были распространены *аллювиальные серогумусовые глеевые и перегнойно-глеевые почвы* (Рис. 13а), состоящие из гумусового или перегнойно-слабооторфованного верхнего горизонта, переходящего в глееватый или глеевый срединный горизонт с большим количеством железистых новообразований. Во всех профилях почв были вскрыты грунтовые воды на уровне 60-80 см.

Гранулометрический состав почв средне- и тяжелосуглинистый. Удельная поверхность варьирует от 80 до 230 м²/г. Почвы характеризуются слабокислой и нейтральной реакцией среды. Содержание С орг от 2,1 до 5,4%. Карбонаты отсутствуют (приложение VI).

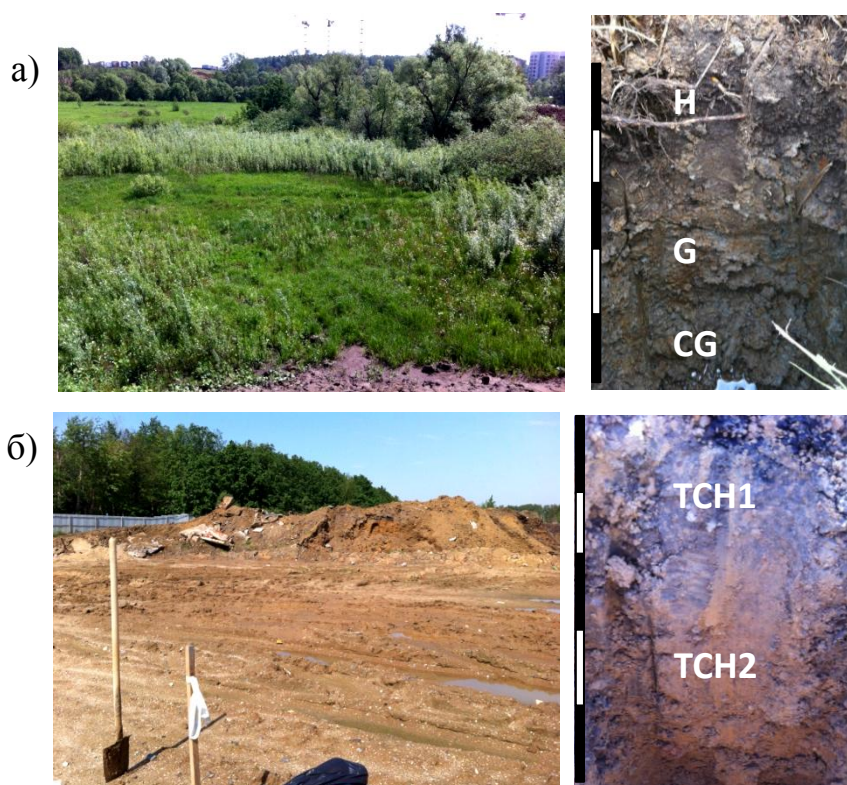


Рис. 13. Общий вид и почвы (ТПО) участка V: а) до засыпки поймы, б) после проведения планировки.

После засыпки участка техногенными грунтами были сформированы *литостраты* и *органолитостраты* (Рис. 13б), представленные преимущественно суглинками, местами опесчаненными, неоднородной

окраски, в основном темно-бурой, с различным количеством темно-серых, ржавых пятен. Характеризуются неоднородным сложением, составом и свойствами. Отмечается значительное количество камней, включений строительного мусора: битого кирпича, железных обломков, древесины и др. Реакция среды слабощелочная, содержание органики варьирует от 0,2% до 1,1% (приложение VI).

Установленные физические и химические свойства почв и ТПО всех участков исследования соответствуют природным и городским почвам подзоны южной тайги [Почва, город..., 1997; Герасимова и др., 2003; Кулачкова, 2006; Иванников, Прокофьева, 2010; Семенов и др., 2010; Попутников, 2011; Прокофьева и др., 2011; Стома, Ахадова, 2015].

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

4.1. Оценка газогеохимического состояния и экологических функций почв и техногенных поверхностных образований

Разложение органического вещества в техногенных и техногенно-рекрементогенных грунтах, а также природных органогенных отложениях, как было показано выше, приводит к образованию метана и углекислого газа. Названные газы мигрируют по поровому пространству к поверхности, что увеличивает их концентрацию в почвенном воздухе. По происхождению метан, обнаруживаемый в почвах и техногенных поверхностных образованиях на техногенных газогенерирующих грунтах, является *аллохтонным*.

В условиях притока аллохтонных метана и углекислого газа из техногенных грунтов и природных отложений происходит изменение *показателей газогеохимического состояния почв и ТПО*: увеличивается содержание газов в почвенном воздухе, их эмиссия в атмосферу и, как результат, растет концентрация в приземном слое воздуха.

Также возможно *автохтонное* образование метана в почвах и техногенных поверхностных образованиях, связанное с разложением органического вещества в анаэробных условиях внутри агрегатов [Степанов, Манучарова, 2006]. Оно проявляется в рекультивационных горизонтах РАТ с высоким содержанием органики и высокой водоудерживающей способностью. А также в случае подтопления почв и ТПО, расположенных, как правило, на поймах рек, где в ходе планировки поверхности с целью понижения уровня грунтовых вод не удалось справиться с этой проблемой. Почвенный метаногенез является дополнительным источником CH_4 , поэтому его активность также должна рассматриваться при оценке газогеохимического состояния почв.

Повышенные концентрации метана в почвах и ТПО, формирующиеся в результате притока аллохтонного CH_4 из нижележащих слоев или активного

метаногенеза в профиле, способствуют развитию сообщества метанотрофных микроорганизмов и, следовательно, активизации бактериального окисления CH_4 . Метаноокисление является регуляционной экологической функцией почвы, направленной на задержание и трансформацию образующегося в самой почве автохтонного и мигрирующего из газогенерирующих грунтов аллохтонного метана, предотвращая его эмиссию в атмосферу [Добровольский, Никитин, 2012].

Были выбраны следующие показатели газогеохимического состояния и экологических функций почв: содержание свободных метана и углекислого газа в почвах и ТПО, активности бактериального образования и окисления метана, эмиссия CH_4 и CO_2 в атмосферу. Также в работе рассматривается состояние приземного слоя воздуха по содержанию метана и углекислого газа. На основе экспертной оценки собственных и литературных данных [Ножевникова и др., 1989, 1999; Еланский, 2002; Инструкция..., 2004; ГН 2.2.5.2100-06, 2006; Каллистова и др., 2005, 2006; ГН 2.1.6.2309-07; 2007; Викторова, 2007; Гурина, 2008; Шустров и др., 2008; Можарова и др., 2010; Свод правил..., 2012; Визирская и др., 2013; Семенюк и др., 2013; Robertson, 2001, 2006; Koerner, Klopatek, 2002 и др.] было проведено ранжирование перечисленных показателей (Табл. 5).

В почвах и ТПО в условиях миграции аллохтонного метана из газогенерирующих природных и техногенных отложений, а также его активного микробиологического образования в профиле выделяются участки *газовых аномалий* с повышенным содержанием метана и углекислого газа. Предлагается выделять газовые аномалии при содержании метана в почвенном воздухе *более 10 ppm*, углекислого газа – *более 0,3%*. Данные величины были выбраны в соответствии с СП 11-102-97 [Свод правил..., 2001], согласно которому газогеохимические аномалии, связанные с газогенерирующими грунтами, выделяются при содержании метана $>0,01\%$ и углекислого газа $>0,2-0,3\%$. Однако для метана граница аномалии была

Табл. 5. Оценочные шкалы показателей газогеохимического состояния и экологических функций почв.

Балл	Характеристика	Варьируемые значения	Балл	Характеристика	Варьируемые значения
Содержание CH₄ в почвенно-грунтовой атмосфере, ppm			Содержание CO₂ в почвенно-грунтовой атмосфере, %		
1	низкое	0-10	1	низкое	0,0-0,3
2	среднее	>10-100	2	среднее	>0,3-0,5
3	высокое	>100-1000	3	высокое	>0,5-1,0
4	очень высокое	>1000-10000	4	очень высокое	>1,0-5,0
5	чрезвычайно высокое	>10000	5	чрезвычайно высокое	>5,0
Активность бактериального образования метана (МГ), нг·г⁻¹·ч⁻¹			Активность бактериального окисления метана (АБО), нг·г⁻¹·ч⁻¹		
1	низкая	0-0,01	1	очень низкая	0-10
			2	низкая	>10-20
2	средняя	>0,01-0,1	3	средняя	>20-30
			4	высокая	>30-50
3	высокая	>0,1-1,0	5	очень высокая	>50-100
			6	чрезвычайно высокая	>100
Эмиссия CH₄, мг CH₄·м⁻²·ч⁻¹			Эмиссия CO₂, мг CO₂·м⁻²·ч⁻¹		
1	невыраженная	<0,0	1	невыраженная	<0
2	низкая	>0,0-0,1	2	низкая	>0-200
3	средняя	>0,1-1,0	3	средняя	>200-400
4	высокая	>1,0-10,0	4	высокая	>400-600
5	очень высокая	>10,0-100,0	5	очень высокая	>600-800
6	чрезвычайно высокая	>100,0	6	чрезвычайно высокая	>800(1000)
Концентрация CH₄ в приземной атмосфере, ppm			Концентрация CO₂ в приземной атмосфере, %		
1	фоновая	0-2	1	фоновая	0,0-0,04
2	низкая	>2-15	2	низкая	>0,04-0,1
3	средняя	>15-30	3	средняя	>0,1-0,2
4	высокая	>30-75	4	высокая	>0,2-0,5
5	очень высокая	>75	5	очень высокая	>0,5

снижена до 10 ppm в связи с тем, что исследования фоновых почв, расположенных в районе Щелковского подземного хранилища газа, показали, что средние значения концентрации метана в автоморфных дерново-подзолистых почвах не превышали 3 ppm, в полугидроморфных дерново-подзолисто-глеевых – 4 ppm, торфянисто-подзолисто-глеевых – 9

ppm. Таким образом, во всех природных почвах, кроме гидроморфных, средние концентрации метана в почвенном воздухе были меньше 10 ppm [Кулачкова, 2006].

Соотношение газов в аномалиях может варьировать в зависимости от ряда условий (подтопления территорий, преобладания аэробных или анаэробных условий в грунтах и почвах, активности бактериального образования и окисления метана, содержания органического вещества, активности дыхания почв). Предлагается различать газовые аномалии по составу (Табл. 6).

Табл. 6. Состав газовых аномалий.

Аномалия	Соотношение концентраций CH ₄ и CO ₂
углекислотно-метановая	CH ₄ > CO ₂
метаново-углекислотная	CO ₂ > CH ₄ , C(CH ₄) = n * 10 ⁻¹ %
углекислотная с участием метана	CO ₂ > CH ₄ , C(CH ₄) = n * 10 ⁻² - n * 10 ⁻³ %
углекислотная	CO ₂ > CH ₄ , C(CH ₄) = n * 10 ⁻⁴ %

В почвах и ТПО в условиях притока аллохтонного метана формируются *почвенно-геохимические барьеры* – участки, в которых происходит замедление миграции газа, его накопление и трансформация. С этой позиции в работе рассматривается *биогеохимический барьер*. Он характеризуется по величинам активности бактериального окисления метана. Емкость барьера соответствует грациям, приведенным в Табл. 5: малоемкий барьер – 1, среднеемкий – 2, емкий – 3, высокоемкий – 4, очень высокоемкий – 5+6.

Почвы исследованных участков были оценены по предложенным показателям газогеохимического состояния почв. Результаты оценки приведены в таблицах (Табл. 7-11). Показана оценка в баллах для медианных (в числителе) и максимальных (в знаменателе) значений параметров.

Табл. 7. Оценка газогеохимического состояния и экологических функций почв и ТПО на маломощных техногенных грунтах (Участок I) (Med / среднее ± ош. сред., максимум, n, балл параметра)

Названия почв и ТПО	С СН ₄ в почве, ppm	С СО ₂ в почве, %	МГ*, мг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	АБО*, мг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	Эмиссия СН ₄ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	Эмиссия СО ₂ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	С СН ₄ в приземной атмосфере, ppm	С СО ₂ в приземной атмосфере, %
Урбаноземы и урбаноземы маломощные	<u>2,13</u> 2,14±0,06 max=2,46 n=12 1/1	<u>0,31</u> 0,33±0,02 max=0,44 n=12 2/2	<u>0,015</u> 0,014±0,002 max=0,019 n=6 2/2	<u>4,99</u> 4,03±0,84 max=7,96 n=12 1/1	<u>0,02</u> 0,02±0,006 max=0,03 n=4 2/2	<u>233,2</u> 231,1±41,7 max=308,4 n=4 3/3	<u>1,93</u> 1,92±0,03 max=2,06 n=8 1/2	<u>0,22</u> 0,21±0,02 max=0,27 n=8 4/4
Серогумусовые техногенные	<u>2,10</u> 2,10±0,04 max=2,78 n=42 1/1	<u>0,25</u> 0,27±0,02 max=0,75 n=42 1/3	<u>0,014</u> 0,017±0,003 max=0,040 n=14 2/2	<u>2,92</u> 4,74±1,14 max=8,14 n=24 1/1	<u>-0,01</u> -0,01±0,005 max=0,02 n=14 1/2	<u>148,3</u> 280,0±83,5 max=1053,2 n=14 2/6	<u>2,12</u> 2,11±0,03 max=2,48 n=28 2/2	<u>0,15</u> 0,15±0,01 max=0,28 n=28 3/4
Рекреаземы	<u>2,33</u> 2,33±0,04 max=2,73 n=24 1/1	<u>0,30</u> 0,35±0,04 max=0,74 n=24 2/3	<u>0,007</u> 0,008±0,002 max=0,012 n=4 1/2	<u>5,45</u> 5,45±2,95 max=9,41 n=8 1/1	<u>-0,01</u> -0,01±0,002 max=0,01 n=8 1/2	<u>465,2</u> 572,9±102,7 max=1057,0 n=8 4/6	<u>2,26</u> 2,27±0,01 max=2,42 n=16 2/2	<u>0,15</u> 0,15±0,01 max=0,22 n=16 3/4

*МГ – активность бактериального образования метана, АБО – активность бактериального окисления метана

Табл. 8. Оценка газогеохимического состояния и экологических ТПО на запечатанных, подтопляемых техногенных грунтах, подстилаемых рекрементогенными отложениями погребенной свалки (Участок II) (Med / среднее \pm ош. сред., максимум, n, балл параметра)

Названия почв и ТПО	С CH ₄ в почве, ppm	С CO ₂ в почве, %	МГ, нг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	АБО, нг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	Эмиссия CH ₄ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	Эмиссия CO ₂ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	С CH ₄ в приземной атмосфере, ppm	С CO ₂ в приземной атмосфере, %
<i>Реплантоземы</i>	<u>2,10</u> 2,18 \pm 0,12 max=2,50 n=4 1/1	<u>0,15</u> 0,15 \pm 0,01 max=0,18 n=4 1/1	<u>0,028</u> 0,028 \pm 0,008 max=0,036 n=2 2/2	<u>7,14</u> 8,23 \pm 2,88 max=18,64 n=4 1/3	<u>0,007</u> 0,007 \pm 0,013 max=0,02 n=2 2/2	<u>9,8</u> 9,8 \pm 5,2 max=15,0 n=2 2/2	<u>2,30</u> 2,30 \pm 0,06 max=2,40 n=3 2/2	<u>0,15</u> 0,15 \pm 0,001 max=0,15 n=3 3/3
<i>Литостраты, литостраты глеевые и глееватые</i>	<u>2,30</u> 3,90 \pm 1,08 max=15,48 n=16 1/2	<u>0,11</u> 0,12 \pm 0,01 max=0,21 n=16 1/1	<u>0,007</u> 0,008 \pm 0,001 max=0,012 n=14 1/2	<u>17,33</u> 17,40 \pm 5,29 max=29,84 n=16 2/3	<u>0,00</u> 0,003 \pm 0,007 max=0,07 n=12 1/2	<u>33,7</u> 66,9 \pm 25,7 max=253,2 n=12 2/3	<u>2,20</u> 2,33 \pm 0,06 max=3,00 n=18 2/2	<u>0,12</u> 0,12 \pm 0,004 max=0,15 n=18 3/3

Табл. 9. Оценка газогеохимического состояния и экологических функций почв и ТПО на мощных техногенно-рекрементогенных грунтах (Участок III) (Med / среднее \pm ош. сред., максимум, n, балл параметра)

Названия почв и ТПО	С СН ₄ в почве, ppm	С СО ₂ в почве, %	МГ, нг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	АБО, нг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	Эмиссия СН ₄ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	Эмиссия СО ₂ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	С СН ₄ в приземной атмосфере, ppm	С СО ₂ в приземной атмосфере, %
Урбаноземы маломощные и серогумусовые техногенные	<u>2,57</u> 10,24 \pm 6,76 max=217,90 n=32 1/3	<u>0,53</u> 0,56 \pm 0,02 max=0,79 n=32 3/3	<u>0,010</u> 0,025 \pm 0,007 max=0,136 n=20 1/3	<u>2,32</u> 2,70 \pm 0,47 max=7,94 n=36 1/1	<u>0,01</u> 0,002 \pm 0,007 max=0,06 n=18 2/2	<u>433,9</u> 451,3 \pm 44,2 max=816,0 n=18 4/6	<u>2,35</u> 2,42 \pm 0,08 max=3,29 n=24 2/2	<u>0,37</u> 0,39 \pm 0,03 max=0,67 n=24 4/5
Реплантоземы	<u>2,15</u> 1,70 \pm 0,34 max=2,33 n=6 1/1	<u>0,67</u> 0,73 \pm 0,07 max=0,94 n=6 3/3	<u>0,022</u> 0,020 \pm 0,004 max=0,027 n=4 2/2	<u>4,42</u> 3,90 \pm 0,94 max=4,42 n=8 1/1	<u>-0,01</u> -0,04 \pm 0,02 max=0,01 n=6 1/2	<u>476,5</u> 623,2 \pm 40,5 max=1076,1 n=6 4/6	<u>2,32</u> 2,23 \pm 0,22 max=2,67 n=4 2/2	<u>0,35</u> 0,36 \pm 0,01 max=0,38 n=4 4/4
Литостраты	<u>2,49</u> 19,51 \pm 12,71 max=443,80 n=36 1/3	<u>0,47</u> 0,48 \pm 0,03 max=0,88 n=36 2/3	<u>0,012</u> 0,017 \pm 0,006 max=0,080 n=12 2/2	<u>2,54</u> 5,30 \pm 1,23 max=14,51 n=24 1/2	<u>0,02</u> 0,08 \pm 0,06 max=1,97 n=31 2/4	<u>301,7</u> 294,6 \pm 35,2 max=817,8 n=31 3/6	<u>2,29</u> 2,41 \pm 0,07 max=3,83 n=30 2/2	<u>0,46</u> 0,43 \pm 0,03 max=0,76 n=30 4/5
Органолитостраты	<u>2,06</u> 3,04 \pm 0,52 max=9,27 n=23 1/1	<u>0,34</u> 0,34 \pm 0,04 max=0,79 n=23 2/3	<u>0,010</u> 0,016 \pm 0,003 max=0,035 n=16 1/2	<u>3,08</u> 2,67 \pm 0,58 max=12,01 n=32 1/2	<u>-0,01</u> -0,02 \pm 0,01 max=0,07 n=20 1/2	<u>365,9</u> 390,7 \pm 68,9 max=981,1 n=20 3/6	<u>2,10</u> 2,12 \pm 0,04 max=2,47 n=16 2/2	<u>0,17</u> 0,22 \pm 0,03 max=0,41 n=16 3/4

Табл. 10. Оценка газогеохимического состояния и экологических функций почв и ТПО на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями, часто органогенными (Участок IV)
(Med / среднее \pm ош. сред., максимум, n, балл параметра)

Почвообр. породы	Названия почв и ТПО	С CH ₄ в почве, ppm	С CO ₂ в почве, %	МГ, нг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	АБО, нг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	Эмиссия CH ₄ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	Эмиссия CO ₂ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	С CH ₄ в приземной атмосфере, ppm	С CO ₂ в приземной атмосфере, %
Аллювиальные отложения, иногда прослоями торфа и включениями органики	Аллювиальные серогумусовые	<u>2,31</u> 2,32±0,02 max=2,55 n=33 1/1	<u>0,39</u> 0,39±0,02 max=0,69 n=33 2/3	<u>0,014</u> 0,016±0,003 max=0,025 n=8 2/2	<u>6,80</u> 6,84±0,90 max=20,50 n=29 1/3	<u>0,00</u> 0,002±0,002 max=0,02 n=29 1/2	<u>233,3</u> 232,9±25,6 max=350,5 n=29 3/3	<u>2,30</u> 2,32±0,03 max=2,85 n=29 2/2	<u>0,19</u> 0,18±0,01 max=0,24 n=29 3/4
	Аллювиальные перегнойно-глеевые	<u>7,37</u> 7,45±1,65 max=10,45 n=4 1/2	<u>0,28</u> 0,28±0,01 max=0,30 n=4 1/1	<u>0,177</u> 0,130±0,058 max=0,197 n=6 3/3	<u>29,71</u> 23,14±6,14 max=33,03 n=12 3/4	<u>0,11</u> 0,11±0,02 max=0,12 n=2 3/3	<u>151,9</u> 151,9±37,2 max=189,1 n=2 2/2	<u>2,70</u> 2,87±0,22 max=3,30 n=3 2/2	<u>0,18</u> 0,17±0,01 max=0,18 n=3 3/3
	Дерново-подзолистые	<u>2,45</u> 2,35±0,16 max=2,60 n=4 1/1	<u>0,27</u> 0,28±0,02 max=0,33 n=4 1/2	<u>0,025</u> 0,033±0,013 max=0,070 n=8 2/2	<u>7,10</u> 14,90±4,68 max=42,54 n=16 1/4	<u>-0,01</u> -0,01±0,03 max=0,03 n=2 1/2	<u>265,1</u> 265,1±14,0 max=289,1 n=2 3/3	<u>2,45</u> 2,35±0,12 max=2,50 n=4 2/2	<u>0,15</u> 0,16±0,01 max=0,17 n=4 3/3
Техн. грунты, подстилаемые органоаллюви	Литостраты, в т.ч. глеевые и глееватые	<u>3,03</u> 500,32±276,69 max=12300 n=62 1/5	<u>0,25</u> 0,30±0,02 max=0,89 n=60 1/3	<u>0,007</u> 0,023±0,006 max=0,075 n=15 1/2	<u>7,45</u> 11,97±3,00 max=61,98 n=50 1/5	<u>0,00</u> 0,15±0,06 max=1,26 n=35 1/4	<u>29,3</u> 37,7±8,2 max=198,2 n=35 2/2	<u>2,72</u> 3,21±0,23 max=12,26 n=53 2/2	<u>0,19</u> 0,20±0,01 max=0,35 n=53 3/4

Техногенные грунты, подстилаемые органогенными аллювиальными отложениями	<i>Органолитостраты, в т.ч. глеевые и глееватые</i>	<u>3,89</u> 2356,75±1398,16 max=21460,0 n=20 1/5	<u>0,23</u> 0,34±0,08 max=1,43 n=20 1/4	<u>0,041</u> 0,045±0,008 max=0,067 n=4 2/2	<u>18,36</u> 17,31±5,14 max=32,52 n=16 1/4	<u>0,01</u> 0,14±0,07 max=0,61 n=10 2/3	<u>123,2</u> 118,4±22,6 max=253,6 n=10 2/3	<u>2,70</u> 6,32±2,30 max=34,50 n=19 2/4	<u>0,18</u> 0,18±0,01 max=0,26 n=19 3/4
	<i>Пелоземы</i>	<u>3,01</u> 86,89±49,86 max=965,30 n=26 1/3	<u>0,29</u> 0,32±0,02 max=0,68 n=26 1/3	<u>0,005</u> 0,014±0,007 max=0,032 n=5 1/2	<u>19,63</u> 16,88±4,33 max=22,61 n=9 2/3	<u>-0,01</u> -0,01±0,01 max=0,02 n=13 1/2	<u>132,1</u> 130,9±33,4 max=316,9 n=13 2/3	<u>3,17</u> 3,15±0,13 max=4,14 n=19 2/2	<u>0,18</u> 0,19±0,02 max=0,44 n=19 3/4
	<i>Серогумусовые техногенные</i>	<u>2,81</u> 2,81±0,03 max=2,86 n=4 1/1	<u>0,34</u> 0,33±0,02 max=0,37 n=4 2/2	<u>0,012</u> 0,021±0,010 max=0,069 n=6 2/2	<u>12,97</u> 13,24±2,11 max=17,01 n=12 2/2	<u>0,00</u> 0,002±0,008 max=0,01 n=2 1/2	<u>390,0</u> 390,0±122,3 max=512,2 n=2 3/4	<u>2,89</u> 2,80±0,05 max=2,89 n=3 2/2	<u>0,13</u> 0,12±0,02 max=0,14 n=3 3/3
Техногенные грунты, подстилаемые аллювиальными отложениями	<i>Литостраты, в т.ч. глеевые и глееватые</i>	<u>2,65</u> 39,26±31,09 max=3045,00 n=98 1/4	<u>0,22</u> 0,27±0,02 max=1,19 n=98 1/4	<u>0,015</u> 0,031±0,006 max=0,118 n=33 2/3	<u>13,65</u> 21,62±2,34 max=77,81 n=108 2/5	<u>0,00</u> 0,01±0,02 max=0,41 n=53 1/3	<u>51,8</u> 85,7±19,1 max=646,5 n=53 2/5	<u>2,51</u> 2,94±0,16 max=11,90 n=87 2/2	<u>0,18</u> 0,18±0,005 max=0,31 n=87 3/4
	<i>Органолитостраты, в т.ч. глеевые и глееватые</i>	<u>2,90</u> 26,46±15,58 max=606,20 n=53 1/3	<u>0,19</u> 0,21±0,01 max=0,48 n=53 1/2	<u>0,059</u> 0,089±0,041 max=0,620 n=14 2/3	<u>4,89</u> 10,40±2,27 max=40,51 n=56 1/4	<u>0,01</u> 0,03±0,02 max=0,34 n=27 2/3	<u>37,1</u> 68,8±23,6 max=415,9 n=27 2/4	<u>2,40</u> 2,55±0,07 max=4,40 n=48 2/2	<u>0,17</u> 0,17±0,004 max=0,28 n=48 3/4
	<i>Артиурбистраты</i>	<u>2871,50</u> 2871,50±32,50 max=2904,0 n=2 4/4	<u>0,91</u> 0,91±0,16 max=1,07 n=2 3/4	<u>0,074</u> n=1 2	<u>10,27</u> 12,79±6,47 max=30,60 n=4 2/4	<u>2,93</u> 2,93±0,04 max=2,97 n=2 4/4	<u>127,7</u> 127,7±37,4 max=165,1 n=2 2/2	<u>64,90</u> 64,90±1,40 max=66,30 n=2 4/4	<u>0,17</u> 0,17±0,01 max=0,17 n=4 3/3

	<i>Пелоземы</i>	<u>2,60</u> 17,86±10,56 max=217,50 n=27 1/3	<u>0,23</u> 0,24±0,02 max=0,67 n=27 1/3	<u>0,036</u> 0,044±0,009 max=0,094 n=14 2/2	<u>16,15</u> 26,76±4,21 max=78,99 n=52 2/5	<u>0,00</u> 0,001±0,008 max=0,04 n=13 1/2	<u>135,9</u> 136,5±21,9 max=284,9 n=13 2/3	<u>2,40</u> 2,53±0,07 max=3,90 n=32 2/2	<u>0,16</u> 0,171±0,01 max=0,38 n=32 3/4
//-	<i>Реплантоземы и рекреаземы</i>	<u>2,96</u> 4,03±0,55 max=29,75 n=70 1/2	<u>0,33</u> 0,38±0,02 max=0,90 n=70 2/3	<u>0,028</u> 0,098±0,031 max=0,854 n=38 2/3	<u>17,33</u> 17,12±2,20 max=46,94 n=92 2/4	<u>0,00</u> 0,001±0,007 max=0,06 n=28 1/2	<u>281,5</u> 317,6±41,9 max=1030,6 n=28 3/6	<u>2,73</u> 2,74±0,08 max=4,33 n=56 2/2	<u>0,23</u> 0,25±0,01 max=0,47 n=55 3/4

Табл. 11. Оценка газогеохимического состояния и экологических функций почв и ТПО на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями (Участок V) (Med / среднее ± ош. сред., максимум, n, балл параметра)

Почвообр. породы	Названия почв и ТПО	C CH ₄ в почве, ppm	C CO ₂ в почве, %	МГ, нг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	АБО, нг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	Эмиссия CH ₄ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	Эмиссия CO ₂ , мг·м ⁻² ·ч ⁻¹	C CH ₄ в приземной атмосфере, ppm	C CO ₂ в приземной атмосфере, %
Аллювиальные отложения	<i>Аллювиальные серогумусовые глеевые и перегнойно-глеевые</i>	<u>2,55</u> 3,34±0,41 max=9,90 n=28 1/1	<u>0,30</u> 0,35±0,03 max=0,64 n=28 1/3	<u>0,028</u> 0,044±0,009 max=0,113 n=14 2/3	<u>3,10</u> 4,62±1,09 max=16,59 n=28 1/2	<u>0,003</u> 0,058±0,037 max=0,39 n=14 2/3	<u>406,7</u> 493,3±74,1 max=937,4 n=14 4/6	<u>2,10</u> 2,08±0,06 max=2,90 n=28 2/2	<u>0,14</u> 0,14±0,003 max=0,19 n=28 3/3
Техногенные грунты, подстилаемые аллювиальными отложениями	<i>Литостраты и литостраты глееватые</i>	<u>2,40</u> 5,70±1,39 max=47,20 n=46 1/2	<u>0,30</u> 0,39±0,04 max=0,94 n=46 1/3	<u>0,013</u> 0,017±0,004 max=0,036 n=6 2/2	<u>1,64</u> 1,82±0,69 max=5,77 n=12 1/1	<u>0,00</u> -0,003±0,006 max=0,06 n=24 1/2	<u>49,8</u> 144,6±58,2 max=1021,0 n=24 2/6	<u>2,40</u> 2,31±0,06 max=3,50 n=48 2/2	<u>0,15</u> 0,15±0,003 max=0,23 n=48 3/4

4.2. Газогеохимическое состояние и экологические функции почв на маломощных неподтопляемых техногенных грунтах

Урбаноземы, серогумусовые техногенные почвы и рекреаземы на маломощных неподтопляемых техногенных грунтах (участок I) характеризуются низким содержанием метана. *Средняя концентрация CH_4* в почвенном воздухе на глубине 60 см низкая и составляет $2,31 \pm 0,08$ ppm, максимальные значения не превышают 3,0 ppm.

Наличие метана в исследованных почвах связано с *автохтонными источниками*, главным образом его микробиологическим образованием в процессе метаногенеза при разложении органического вещества в анаэробных условиях. По литературным данным известно, что наиболее активно метаногенез протекает в увлажненных ландшафтах (болота, рисовые почвы, заболоченные почвы), однако метаногенные бактерии присутствуют во всех почвах, в том числе и автоморфных [Conrad, 1996]. Причиной этого является наличие в почвах микрониш, подходящих для выживания метаногенов, например, внутри почвенных агрегатов [Степанов, Манучарова, 2006].

В исследованных автоморфных почвах на маломощных техногенных грунтах метаногенез протекает внутри почвенных агрегатов. *Активность бактериального образования метана* в нижних техногенных горизонтах почв и ТПО характеризуется преимущественно низкими величинами ($0,008 \pm 0,001$, разброс $0,006-0,012$ нг·г⁻¹·ч⁻¹), в верхних гумусированных горизонтах – средними ($0,022 \pm 0,004$, разброс $0,014-0,033$ нг·г⁻¹·ч⁻¹) закономерно увеличению содержания органического вещества (Рис. 14). Обнаружены значимые положительные корреляционные связи между содержанием органического углерода и активностью микробиологического образования метана в почвах ($r=0,45$, $p<0,05$).

Продуцируемый внутри почвенных агрегатов метан перемещается к поверхностному слою, где он окисляется специфической группой аэробных

метанотрофных бактерий. Все исследованные почвы характеризуются очень низкой активностью бактериального окисления метана, которая составляет в среднем $4,7 \pm 0,8$ $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ (разброс $1,5-9,4$ $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$), что обусловлено невысокой активностью метаногенеза и отсутствием источников аллохтонного метана в почвообразующих техногенных грунтах. Как правило, наблюдается усиление метанокисления параллельно с увеличением микробиологического образования метана в верхних горизонтах почв. Прямые значимые корреляционные связи ($r=0,90$, $p<0,05$) обнаружены во всех почвах и ТПО, кроме серогумусовых техногенных, расположенных на газонах озеленительных полос вдоль дорог, где, вероятно, существует незначительный приток аллохтонного метана, усиливающий его окисление в нижних горизонтах при низкой активности метаногенеза (Рис. 14).

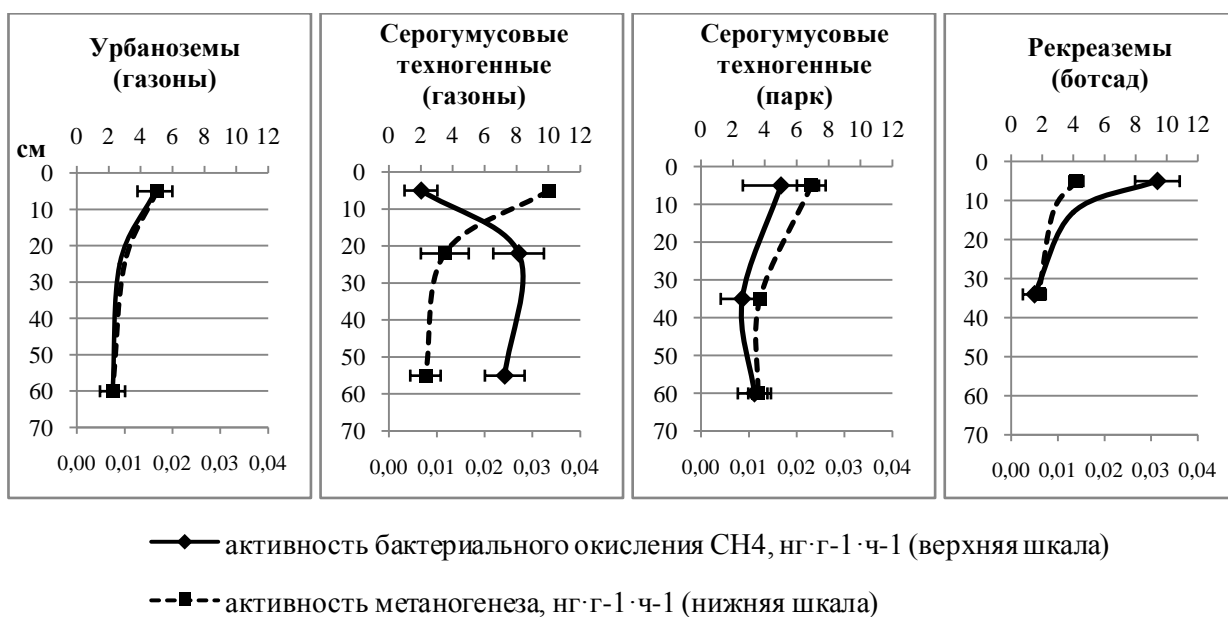


Рис. 14. Активность бактериального образования и окисления метана в почвах и ТПО участка I (на графиках показано среднее \pm ош. сред.).

Циклы образования и окисления метана в автоморфных урбаноземах, рекреаземах и серогумусовых техногенных почвах являются замкнутыми. Эмиссия CH_4 в атмосферу отсутствует или выражена очень слабо (максимальные значения не превышают $0,03$ $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$), почвы и ТПО служат стоком атмосферного метана.

Концентрация углекислого газа в почвенном воздухе характеризуется преимущественно низкими и средними величинами. Наблюдается дифференциация содержания CO_2 по профилю почв. На глубине 60 см оно составляет $0,24 \pm 0,02\%$, редко увеличиваясь до $0,40\%$. В гумусовых горизонтах происходит увеличение содержания углекислоты, различающееся в зависимости от местоположения разрезов и типа землепользования участков. Содержание CO_2 увеличивается в ряду урбаноземов и серогумусовых техногенных почв газонов, серогумусовых техногенных почв парковой зоны и рекреаземов ботанического сада и составляет $0,26 \pm 0,07$, $0,33 \pm 0,07$, $0,48 \pm 0,08\%$, соответственно.

Различия обусловлены биологической активностью почв и ТПО, определяемой по величинам базального дыхания (БД) и содержания углерода микробной биомассы (Смик).

Максимальная скорость БД обнаружена в рекультивационных горизонтах рекреаземов ботанического сада ($3,07 \pm 0,12$ $\text{мкг CO}_2\text{-C}\cdot\text{г}^{-1}$ почвы $\cdot\text{ч}^{-1}$). В верхних горизонтах почв парковой зоны и газонов она снижается до $2,48 \pm 0,05$ и $2,21 \pm 0,08$ $\text{мкг CO}_2\text{-C}\cdot\text{г}^{-1}$ почвы $\cdot\text{ч}^{-1}$, соответственно (Рис. 15а). Величина базального дыхания обнаруживает значимую положительную связь с содержанием органического вещества в почвах ($r=0,70$, $p<0,05$). Полученные результаты величины БД сопоставимы с литературными данными для почв территории МГУ [Стома, Ахадова, 2015], но в 1,5-3 раза меньше, чем в почвах природных лесных экосистем южной тайги [Гончарова, Телеснина, 2010].

Однофакторный дисперсионный анализ выявил значимые отличия в *содержании углерода микробной биомассы* в гумусовых горизонтах исследованных почв и ТПО. Однако в отличие от базального дыхания, содержание Смик максимально в верхних горизонтах серогумусовых техногенных почв парковой зоны, где достигает 1000 $\text{мкг C}\cdot\text{г}^{-1}$ почвы (Рис. 15б), что, вероятно, связано с минимальной антропогенной нагрузкой на данные почвы.

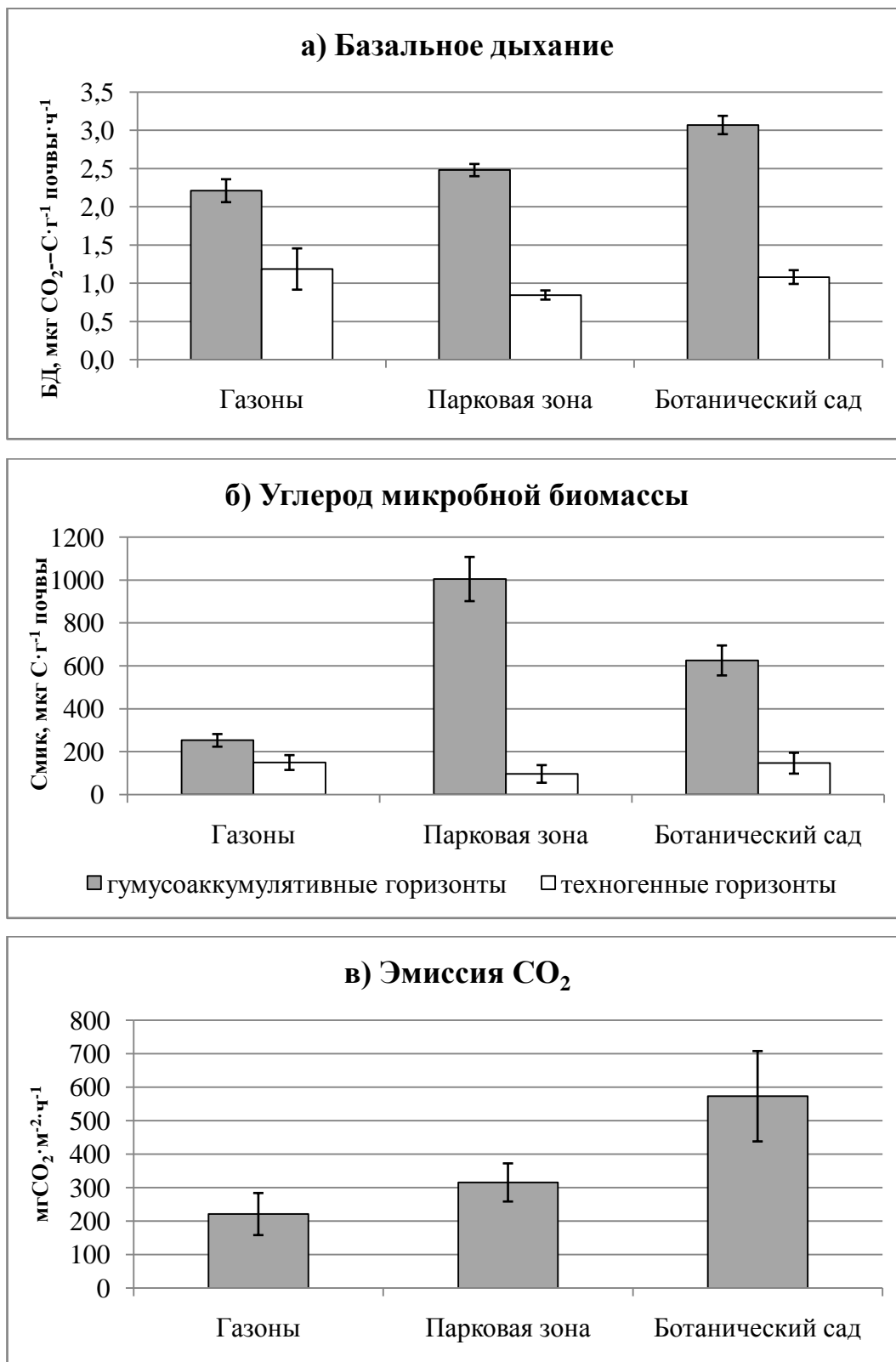


Рис. 15. Показатели биологической активности почв участка I.

Эмиссия углекислого газа в атмосферу демонстрирует ту же закономерность, что содержание CO₂ в почвах и скорость базального

дыхания. Наблюдается тенденция усиления эмиссии CO_2 в ряду от урбаноземов на придорожных газонах к серогумусовым техногенным почвам парковой зоны и рекреаземам ботанического сада (Рис. 15в). Средняя эмиссия CO_2 в данном ряду составляет $220,8 \pm 62,9$, $315,2 \pm 57,0$, $572,9 \pm 135,0$ $\text{мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$. Максимальные величины, достигающие чрезвычайно высоких значений (более $1000 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$), зафиксированы в рекреаземах ботанического сада.

Почвы газонов испытывают наибольшую антропогенную нагрузку, подвержены загрязнению тяжелыми металлами и нефтепродуктами, поэтому не демонстрируют интенсивных эмиссий углекислого газа, несмотря на достаточно высокое содержание органического вещества (2,5%). Полученные данные сопоставимы с литературными [Смагин, 2012; Визирская и др., 2013; Семенюк и др., 2013], показывающими, что эмиссия CO_2 с газонов не превышает $300 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ даже при оптимальных условиях увлажнения и температуры. Рекреаземы ботанического сада с высокой степенью окультуренности и невысокой рекреационной нагрузкой демонстрируют максимальные интенсивности выделения CO_2 при меньшем, по сравнению с почвами парка, содержании углерода микробной биомассы. Высокая эмиссия углекислого газа, сопоставимая с природными почвами зоны южной тайги [Курганова, 2010], может объясняться большим вкладом дыхания грибов, корней растений, а также почвенной мезофауны. Известно, что почвы Ботанического сада МГУ характеризуются высокими значениями длины грибного мицелия, превышающими таковые в урбаноземах г. Москвы, а численность и биомасса беспозвоночных в почвах ботсада в 4-6 раз выше, чем в зональных дерново-подзолистых почвах, и в 10 раз выше, чем в урбаноземах [Раппопорт и др., 2013; Розанова и др., 2016].

Концентрации метана в приземной атмосфере (0,1 м) незначительно превышают общепланетарный фон (1,8 ppm) и составляют $2,15 \pm 0,09$ ppm.

Однако эти величины сопоставимы со средними для Москвы [Доклад «О состоянии...», 2015].

Концентрации углекислого газа в приземной атмосфере средние ($0,14 \pm 0,01\%$), что, по-видимому, обусловлено интенсивным почвенным дыханием.

Также были определены концентрации парниковых газов в атмосферном воздухе на высоте 2 и 30 м. Измерения проводились в течение 1 месяца (июля). Приведены усредненные за этот период данные.

В соответствии с теорией футпринта, содержание газов на высоте 20-30 м (выше крон деревьев) соответствует выбросу, собираемому с площади 1 км^2 [Ваганов и др., 2005].

Для выявления источников выбросов парниковых газов был проанализирован характер территории с площадью 1 км^2 вокруг точки отбора проб атмосферного воздуха. Участок характеризуется большим количеством зеленых насаждений (ботанический сад, лесопарк, озелененные участки вдоль дорог, газоны и т.д.). Территории с древесной и преимущественно травянистой растительностью суммарно занимают около 62% площади (Рис. 16а).

Анализ полученных результатов показал, что содержание метана в приземном слое атмосферы на разных высотах остается практически одинаковым (Рис. 16б). В результате проведенного однофакторного дисперсионного анализа значимых отличий между концентрациями CH_4 на разных высотах на участке не выявлено.

Содержание CO_2 на высоте 2 м в среднем составляет $0,13 \pm 0,01\%$, что превышает безопасный для человека уровень [Гурина, 2008; Robertson, 2006] в 1,5-2 раза. Наблюдается увеличение концентрации CO_2 у дорог (максимально до $0,25\%$), связанное с выбросом от автотранспорта.

Обнаружено существенное снижение концентрации диоксида углерода с высотой (до $0,04 \pm 0,01\%$ на высоте 30 м, отличия значимы при $p < 0,05$),

вероятно, связанное с мощным стоком углекислоты в процессе фотосинтеза древесными насаждениями данной территории (Рис. 16в).

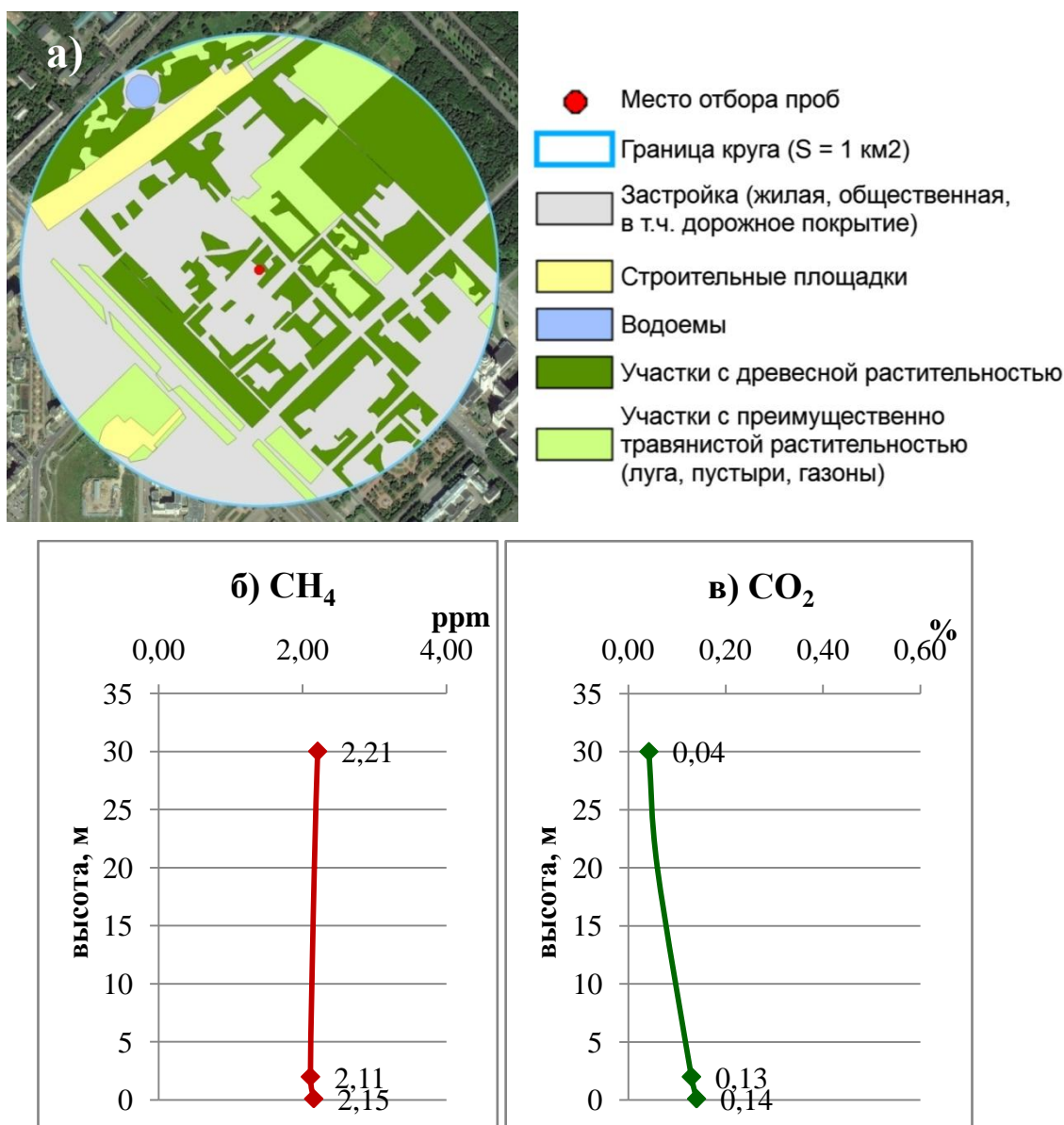


Рис. 16. Концентрации парниковых газов в приземной атмосфере на разных высотах: а) – характер территории; б) – распределение концентраций CH_4 ; в) – распределение концентраций CO_2 .

Таким образом, метановые газовые аномалии в почвах и ТПО на маломощных неподтопляемых техногенных грунтах не выражены, углекислотные аномалии приурочены к верхним горизонтам серогумусовых техногенных почв парка и рекреаземов ботанического сада с высокой интенсивностью дыхания микроорганизмов, корней растений и почвенной мезофауны. Активность бактериального окисления метана обусловлена его

микробиологическим образованием внутри почвенных агрегатов. Она максимальна в верхних гумусовых горизонтах и снижается в нижних, что соответствует распределению интенсивности метаногенеза по профилю почв. Циклы метанобразования-метаноокисления замкнутые, поэтому эмиссия CH_4 в атмосферу не выражена. Почвы и ТПО являются стоком атмосферного метана. Эмиссия углекислого газа варьирует от средней до чрезвычайно высокой в зависимости от типа почвы и типа землепользования. Высокая озелененность участка способствует поглощению выделившегося углекислого газа и снижению его содержания в атмосферном воздухе на высоте 30 м до фонового уровня.

4.3. Газогеохимическое состояние и экологические функции почв и ТПО на техногенных грунтах, подстилаемых техногенно-рекрементогенными отложениями погребенных свалок

Как было показано в литературном обзоре, на окраинах городов и других поселений в пониженных элементах рельефа (оврагах и балках, поймах мелких рек и др.) формируются несанкционированные свалки мусора. Со временем, при расширении границ города, эти окраинные территории включаются в его состав. Для их дальнейшего использования в строительных целях проводят рекультивацию. Часто в ходе рекультивации свалочных тел техногенно-рекрементогенные грунты не удаляются, а только засыпаются привозным материалом, что приводит к формированию погребенных газогенерирующих толщ. Перекрытие свалочного тела насыпными грунтами усиливает газогенерацию за счет ухудшения условий аэрации, а расположение на поймах мелких рек и в оврагах обуславливает частое подтопление газогенерирующих слоев. При этом в нижней части техногенно-рекрементогенных грунтов образуется анаэробная зона, условия в которой аналогичны донным отложениям (E_h в донных отложениях рек составляет $-100...+100$ мВ [Гарькуша, Федоров, 2010]).

Техногенно-рекрементогенные грунты крайне неоднородны по гранулометрическому и минералогическому составу, физико-химическим свойствам, содержат разное количество строительного и бытового мусора. Следовательно, активность газогенерации и накопления газов, как правило, сильно варьирует по площади погребенных свалок (CH_4 – от единиц ppm до нескольких процентов, CO_2 – от десятых долей до десятков процентов) и зависит в первую очередь от неоднородности техногенно-рекрементогенных отложений.

Образующиеся в газогенерирующем слое газы постепенно мигрируют в верхние слои техногенных грунтов и почвы, в которых происходит их *депонирование* и *трансформация* за счет функционирования биогеохимических барьеров.

4.3.1. Особенности газогеохимического состояния и экологических функций почв и ТПО на запечатанных, подтопляемых техногенных грунтах, подстилаемых техногенно-рекрементогенными отложениями

На участке II в слое техногенно-рекрементогенных отложений, располагающемся на глубине 4-6 м, в результате активного разложения органического вещества в условиях периодического подтопления формируются мощные метаново-углекислотные аномалии. Запечатывание территории асфальтобетонным покрытием способствует накоплению газов в газегенерирующем слое. По данным Раменского регионального экологического центра (РРЭЦ) известно, что *концентрация метана* в залежи на глубине 6 м варьирует от 0,01 до 2,5%; по нашим данным – до 0,1% в устье геологических скважин. *Содержание углекислого газа* также неоднородно и составляет 0,2-12,1%. В некоторых скважинах отмечены чрезвычайно высокие концентрации газов, которые могут приводить к возникновению пожаро-взрывоопасных ситуаций. Наблюдается снижение концентрации кислорода (до 8-10%) при увеличении содержания в грунтах

компонентов биогаза (Рис. 17). Резкое варьирование концентраций метана по слою связано с неоднородностью состава и свойств грунтов, неравномерным разложением органического вещества в них, а также разными условиями аэрации.

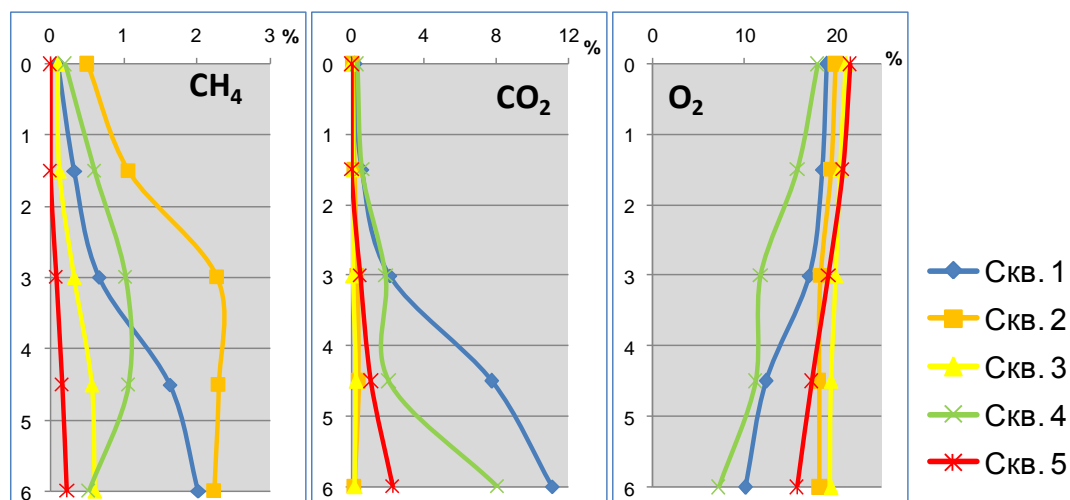


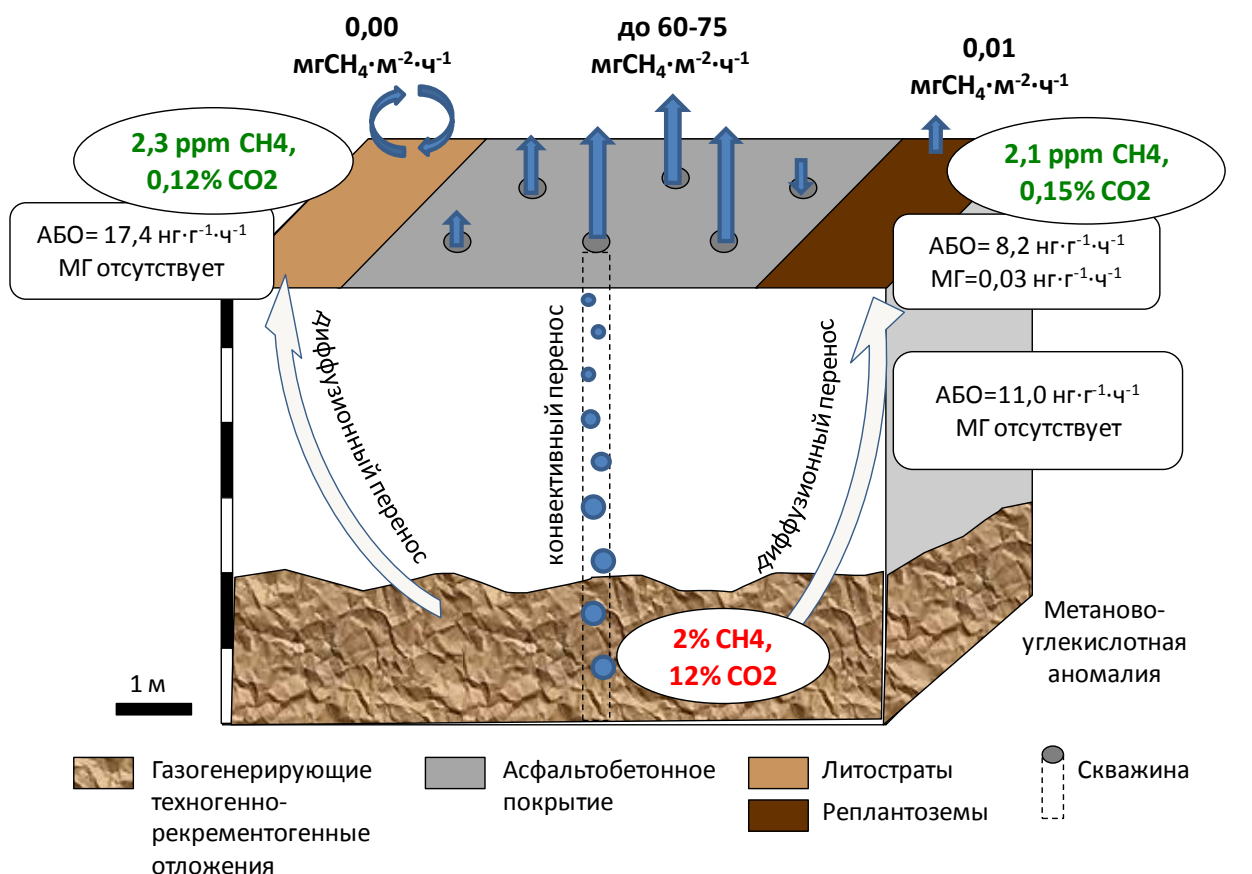
Рис. 17. Распределение содержания CH_4 , CO_2 и O_2 по профилю техногенно-рекрементогенных грунтов на участке II (по данным РРЭЦ).

Запечатывание территории способствует созданию анаэробных условий и накоплению газов в толще. Однако при нарушении асфальтобетонного покрытия (например, бурении скважин при геологических изысканиях для строительства, формировании подвальных площадей), образующийся на глубине метан быстро переносится конвективным потоком к поверхности. Эмиссия CH_4 из скважин варьирует от 0,0-0,4 до 58,0-74,3 $mgCH_4 \cdot m^{-2} \cdot ч^{-1}$, увеличиваясь в зависимости от концентрации газа в газогенерирующем слое (Рис. 18). В единичных случаях наблюдается слабое поглощение метана из атмосферного воздуха ($-0,01 mgCH_4 \cdot m^{-2} \cdot ч^{-1}$), по-видимому, связанное с развитием сообщества метанотрофных бактерий при улучшении условий аэрации грунтов после нарушения запечатанности. Эмиссия CO_2 из скважин невелика и составляет в среднем $68,0 \pm 18,2 mgCO_2 \cdot m^{-2} \cdot ч^{-1}$ (медиана 59,4, разброс 9,1-155,3 $mgCO_2 \cdot m^{-2} \cdot ч^{-1}$).

Накапливающийся под асфальтобетонным покрытием метан также переносится боковыми диффузионными потоками к незапечатанным участкам, где он депонируется в техногенных грунтах и техногенных

поверхностных образованиях. Активность абиотического поглощения (сорбция) метана составляет $26,8 \pm 5,7$ и $24,9 \pm 5,5$ $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, соответственно.

Мигрирующий из газогенерирующего слоя к дневной поверхности метан стимулирует развитие метанотрофной микрофлоры. Обнаружено протекание бактериального окисления метана очень низкой и низкой интенсивности (среднее $11,0 \pm 4,5$, разброс 2,0-16,0 $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$) в техногенных грунтах в зоне аэрации на глубине 1,5-2 м (Рис. 18).



○ - содержание CH₄ и CO₂ в почвенном и грунтовом воздухе; □ - активность бактериального образования (МГ) и окисления (АБО) метана; ↑ - эмиссия метана

Рис. 18. Газогеохимическое состояние почв и ТПО на запечатанных подтопляемых техногенно-рекрементогенных грунтах.

Техногенные поверхностные образования на исследуемой территории являются конечным звеном в вертикальном переносе метана, поглощая CH₄, который не был окислен в техногенных грунтах и мигрировал в верхние слои. Активность бактериального окисления метана в ТПО над

газогенерирующими техногенно-рекрементогенными грунтами погребенной свалки статистически значимо повышается в 1,5-3 раза ($p < 0,05$), по сравнению с городскими почвами на маломощных техногенных грунтах (участок I), где активность метаноокисления обусловлена только микробиологическим образованием метана в профиле почв. Увеличение метанооксиляющей способности почв, подверженных влиянию аллохтонного метана, согласуется с литературными данными для почв в зоне рассеяния углеводородных газов подземного хранилища природного газа, в которых АБО было в 2-3 раза выше, чем в почвах фоновой территории [Кулачкова, 2006].

Активность бактериального окисления метана в ТПО также в 2-3 раза выше, чем в грунтах в зоне аэрации, однако отличия незначимы. В горизонтах ТСН литостратов и литостратов глееватых АБО в среднем составляет $17,4 \pm 5,2 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, максимально увеличиваясь до $29,8 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$. В горизонте РАТ реплантоземов активность метаноокисления ниже и равна $8,2 \pm 2,9 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, что может быть связано с менее благоприятными условиями аэрации, накоплением влаги в органо-минеральном материале горизонта.

Проявление *метаногенеза* в исследованных ТПО и техногенных грунтах в зоне аэрации незначительно ($0,005-0,010 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$). Это позволяет сделать вывод о том, что здесь происходит окисление именно аллохтонного метана, мигрирующего из газогенерирующего слоя. Исключение составляют рекультивационные горизонты реплантоземов, где активность бактериального образования метана увеличивается до $0,028 \pm 0,008 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$. Следовательно, реплантоземы окисляют метан как аллохтонного, так и автохтонного происхождения.

Таким образом, техногенные грунты в условиях аэрации и техногенные поверхностные образования выступают в роли *биогеохимического барьера* на пути мигрирующего из залежи метана. Вследствие депонирования и последующего бактериального окисления метана его накопление в профиле не происходит. *Содержание CH_4 в почвенном воздухе* низкое (медианы для

литостратов и реплантоземов составляют 2,30 и 2,10 ppm, соответственно). Возможно редкое увеличение до средних значений (максимум 15,0 ppm). Эмиссия метана из литостратов не выражена, из реплантоземов составляет по медиане $0,01 \text{ мгСН}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$. Концентрация СН_4 в приземном слое воздуха соответствует фоновому уровню для Москвы ($2,3 \pm 0,04 \text{ ppm}$) (Рис. 18).

Содержание углекислого газа в техногенных грунтах на глубине 2 м составляет $0,18 \pm 0,02\%$, что значимо выше, чем в литостратах ($0,12 \pm 0,01\%$) и реплантоземах ($0,15 \pm 0,01\%$) ($p < 0,05$). Это отличие, вероятно, связано с притоком аллохтонного СО_2 из газогенерирующего слоя.

Низкая концентрация углекислого газа в исследованных почвах и ТПО обусловлена невысокими значениями содержания органического углерода ($1,1 \pm 0,4\%$ в литостратах и $2,1 \pm 0,2\%$ в горизонтах RAT реплантоземов), углерода микробной биомассы ($136,8 \pm 22,1$ и $174,5 \pm 16,3 \text{ мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$ почвы) и базального дыхания ($0,52 \pm 0,07$ и $1,72 \pm 0,05 \text{ мкг СО}_2\text{-С} \cdot \text{г}^{-1}$ почвы $\cdot \text{ч}^{-1}$), а также с его растворением в почвенной влаге.

Эмиссия углекислого газа из литостратов низкая и составляет $66,9 \pm 25,7 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ (медиана $33,7 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$). Увеличения эмиссии СО_2 из реплантоземов не наблюдается. Однако содержание данного газа в слое приземной атмосферы составляет $0,12 \pm 0,01\%$, что в три раза превышает фоновые значения. Возможно, это связано с выбросами от автотранспорта.

4.3.2. Особенности газогеохимического состояния и экологических функций почв и ТПО на мощных техногенно-рекрементогенных отложениях

На участке III с мощными (10-18 м) техногенными грунтами не выделяется единый газогенерирующий слой, как на участке II, однако вся толща техногенных отложений содержит включения мусора (древесину, битое стекло и керамику, органические остатки), поэтому грунты можно отнести к техногенно-рекрементогенным. Также наблюдается подтопление

нижней части техногенной толщи. По данным геолого-гидрологической съемки, грунтовыми водами охвачено от 10 до 50% техногенно-рекрементогенных грунтов. В обводненном слое формируется анаэробная обстановка и происходит активное образование метана и углекислого газа.

Образующиеся на большой глубине (более 8-10 м) газы диффундируют к поверхности, что приводит к формированию аллохтонных газовых аномалий, которые охватывают зону капиллярной каймы и поднимаются в вышележащие слои техногенных грунтов. Миграция метана стимулирует развитие метанотрофной микрофлоры и, следовательно, способствует формированию *биогеохимического барьера* в техногенных грунтах. Уже на глубине 5-6 м при $Eh=+300\dots400$ мВ обнаружено *бактериальное окисление метана* очень низкой интенсивности (среднее $3,2\pm0,7$ $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, при разбросе $1,4-6,0$ $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$) (Рис. 19). Полученные результаты подтверждаются литературными данными для газовых месторождений Пермского Предуралья, показывающими, что зона максимальной интенсивности процессов бактериального окисления газообразных углеводородов в автоморфных условиях приурочена к глубине 0,5-3,0 м. Ниже (до уровня грунтовых вод) располагается зона относительно низкой, но постоянной интенсивности метаноокисления [Оборин и др., 2004]. В то же время обнаружение бактериального окисления метана в грунтах на глубине 5-6 м расширяет представления о распространении метанотрофных бактерий в почвах и грунтах над погребенными свалками. Ранее Д.В. Ивановым [1998] было показано, что над свалочным телом с более близким залеганием к поверхности газогенерирующего слоя биогеохимический барьер функционирует в более узком интервале глубин - от дневной поверхности до 80-100 см.

Низкая активность бактериального окисления метана в грунтах может быть связана как с недостатком кислорода, необходимого метанотрофным микроорганизмам для осуществления процесса метаноокисления [Гальченко, 2001], так и с тем, что грунты, имея легкий гранулометрический состав

(преимущественно связнопесчаный и супесчаный), небольшую удельную поверхность (31,9-70,2 м²/г) и слабое абиотическое поглощение (1,5-9,0 нг·г⁻¹·ч⁻¹), обладают низкой способностью депонировать мигрирующий газ, что затрудняет его использование микроорганизмами. Кроме того, как было показано Д.Г. Звягинцевым [1973], количество самих микроорганизмов зависит от сорбционных свойств почв.

В результате низкой способности техногенных отложений к сорбции газов и малой емкости биогеохимического барьера зафиксирована высокая *концентрация метана* на глубине 5-6 м. Наблюдается сильное варьирование содержания СН₄ по площади участка (103,0-1092,0 ppm, коэффициент вариации 50,4%), связанное с неоднородностью грунтов. Распределение данного показателя ассиметрично, медиана смещена в сторону высоких значений (900 ppm) (Рис. 19).

Несмотря на контрастные окислительно-восстановительные условия (Eh=+300...400 мВ) на глубине 5-6 м *метаногенная активность* в техногенных грунтах низкая (0,009±0,001 нг·г⁻¹·ч⁻¹), что обусловлено небольшим содержанием органического вещества (0,6±0,2%). Полученные данные подтверждают формирование именно аллохтонных газовых аномалий в данном слое.

Содержание углекислого газа в техногенных отложениях на глубине 5-6 м также высокое (среднее 0,56±0,09%, медиана 0,50%, разброс 0,38-0,94%). Оно складывается как из аллохтонного СО₂, поступающего из нижних слоев, так и автохтонного - образованного в процессе бактериального окисления метана.

Большая мощность техногенных грунтов (до 18,0 м) на исследуемой территории обусловила мощную зону аэрации (более 8-10 м), в которой грунты выступают в качестве биогеохимического барьера на пути мигрирующего газа. Несмотря на низкую активность бактериального окисления, большая часть метана утилизируется в техногенной толще, оставшийся газ мигрирует в почвы и ТПО, где завершается его окисление.

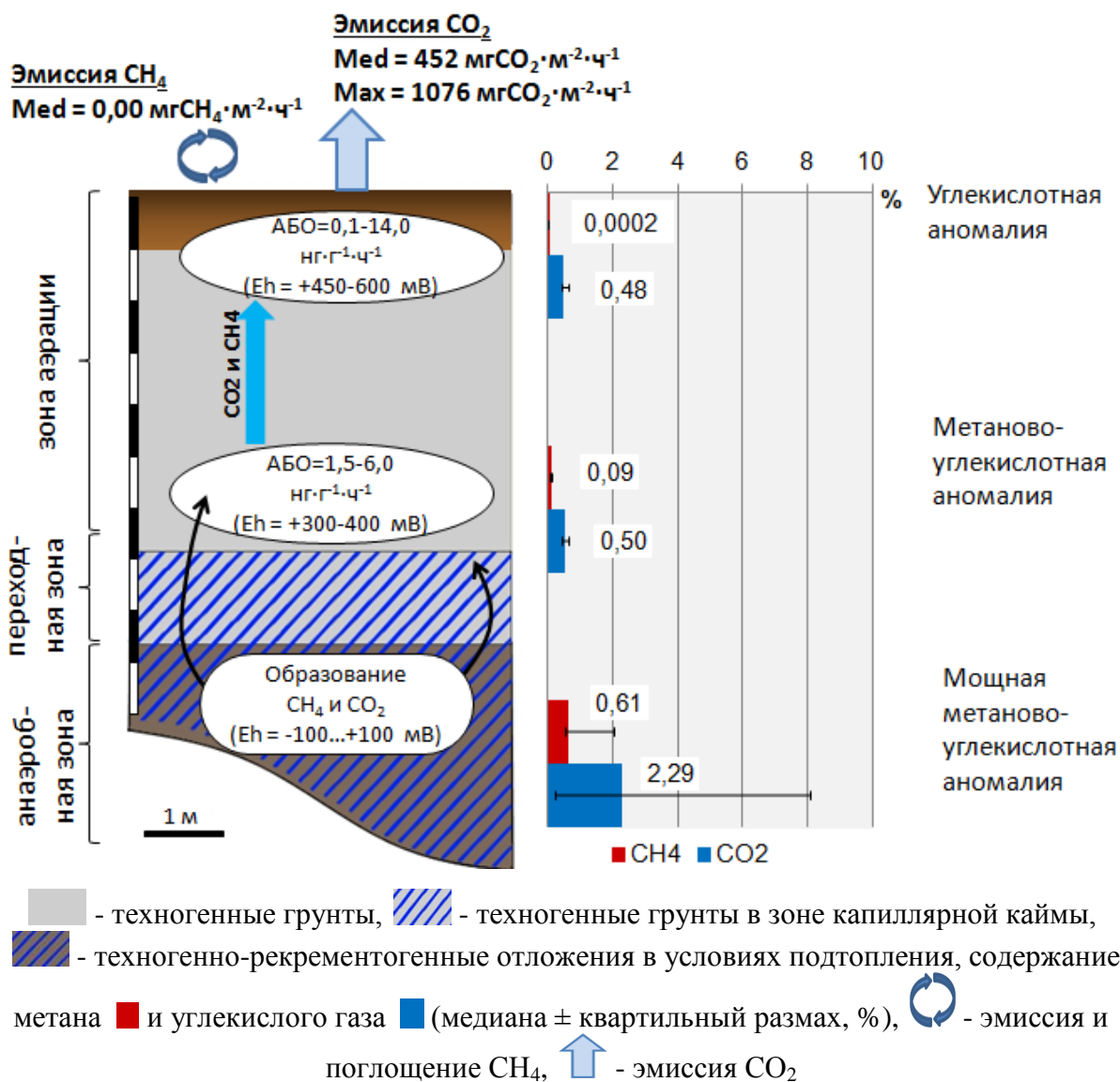


Рис. 19. Активность бактериального метаноокисления, содержание метана и углекислого газа в почвах и техногенных грунтах и эмиссия газов в атмосферу.

Предполагается, что почвы, находящиеся в аэробных условиях, будут выступать в качестве емкого биогеохимического барьера на пути диффундирующего метана. Однако во всех почвах и ТПО исследуемого участка были обнаружены очень низкие и низкие значения АБО (медианы 2,32-4,42, разброс 0,0-14,5 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$), несмотря на окислительные условия (Eh=+450...600 мВ). Столь низкие значения метаноокисления связаны с проявлением антропогенного засоления в почвах и ТПО. Известно, что высокое содержание минеральных солей ингибирует жизнедеятельность

метанотрофных бактерий [Гаязов, 1992; Дедыш, Паников, 1997b; Колесников, Паников, 2005]. Наблюдается увеличение содержания легкорастворимых солей (ЛРС) в гумусовых и рекультивационных (в т.ч. погребенных) горизонтах (среднее $0,16 \pm 0,03$, максимум 0,30%), что может быть связано с накоплением в них солей в результате применения противогололедных реагентов.

Несмотря на в целом очень низкие скорости бактериального окисления метана, обнаружено повышение значений данного показателя в нижней части профиля почв и ТПО (Рис. 20), что свидетельствует об утилизации аллохтонного метана.

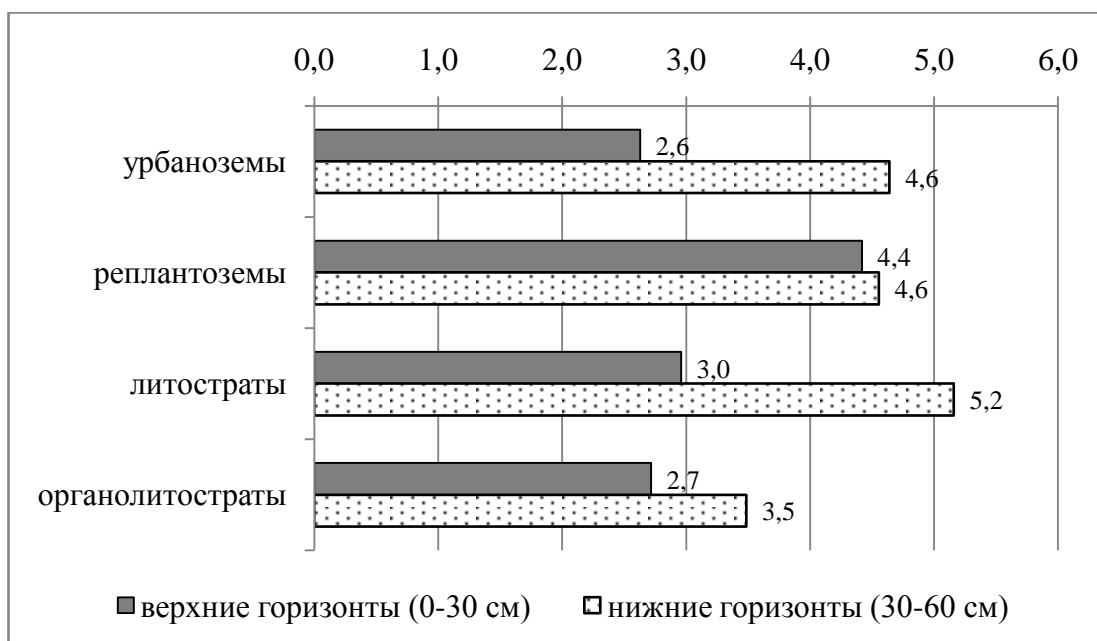


Рис. 20. Профильное распределение активности бактериального окисления метана (медианы) в почвах (ТПО) участка III.

В результате окисления метана в мощных техногенных грунтах и почвах концентрации CH_4 в почвах и ТПО низкие (медианы 2,1-2,6 ppm). Данный показатель имеет логнормальное распределение с преобладанием низких значений. В редких случаях наблюдается увеличение содержания метана в литостратах и серогумусовых техногенных почвах до 30-440 ppm, связанное с наличием мусора и разложением органики, содержащейся в нем, в техногенных горизонтах почв и ТПО.

Эмиссия метана из почв и ТПО также неоднородна и варьирует от -0,10 до 1,97 $\text{мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, преобладают низкие значения (медиана 0,005 $\text{мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$). Концентрация CH_4 в приземном слое атмосферы низкая и составляет в среднем $2,3 \pm 0,1$ ppm (разброс 2,0-3,3 ppm), что соответствует среднему уровню, характерному для г. Москвы (1,9-2,3 ppm [Доклад «О состоянии...», 2015]).

Образование углекислого газа, как конечного продукта бактериального окисления метана, в многометровой толще с аэробными условиями и диффузия в вышележащие слои приводит к формированию углекислотных газовых аномалий в почвах и ТПО со средним по участку содержанием CO_2 $0,53 \pm 0,04\%$ (медиана, 0,48% разброс значений 0,16-0,88%).

В верхних горизонтах концентрация углекислого газа в почвенном воздухе и его эмиссия в атмосферу увеличиваются закономерно увеличению содержания органического вещества и БД ($r=0,53$ и $0,74$, соответственно, $p < 0,05$). Базальное дыхание увеличивается от $0,50-0,78$ $\text{мкг CO}_2\text{-C} \cdot \text{г}^{-1}$ почвы $\cdot \text{ч}^{-1}$ в техногенных горизонтах до $2,12 \pm 0,15$ $\text{мкг CO}_2\text{-C} \cdot \text{г}^{-1}$ почвы $\cdot \text{ч}^{-1}$ в горизонтах АУр и U и $4,14 \pm 0,52$ $\text{мкг CO}_2\text{-C} \cdot \text{г}^{-1}$ почвы $\cdot \text{ч}^{-1}$ в горизонтах РАТ (Рис. 21).

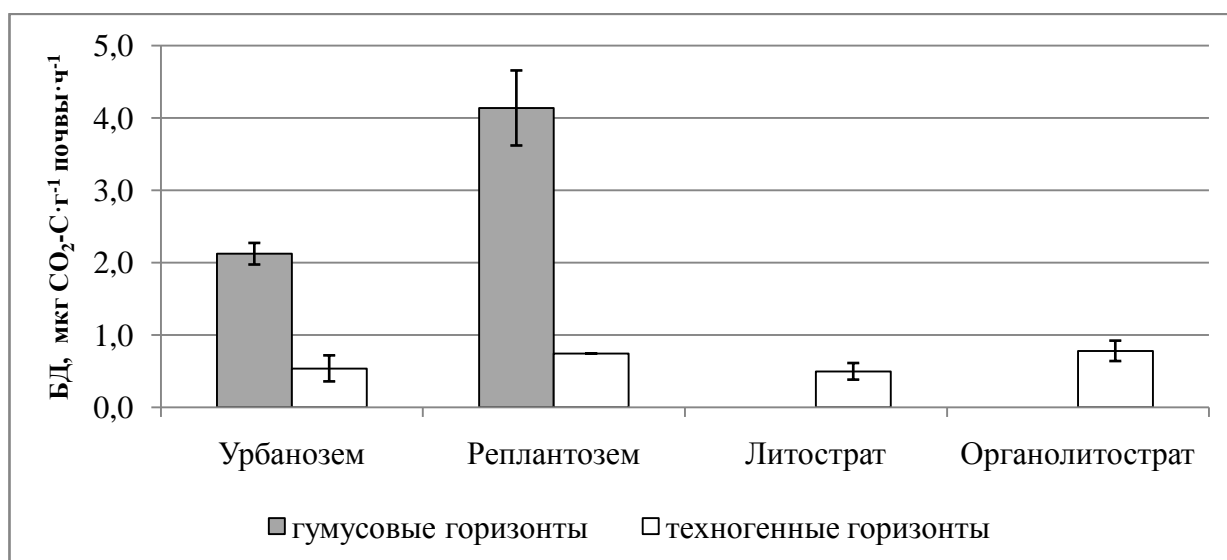


Рис. 21. Скорость базального дыхания почв и ТПО участка III.

Концентрация CO₂ в почвенном воздухе составляет для литостратов, органолитостратов, урбаноземов и реплантоземов 0,34±0,04, 0,48±0,03, 0,56±0,02 и 0,73±0,07%, соответственно. *Эмиссия углекислого газа* значительно различается из ТПО и урбаноземов (p<0,05) и составляет 342,6±35,3 и 451,3±44,2 мгCO₂·м⁻²·ч⁻¹, соответственно, увеличиваясь до 623,2±40,5 мгCO₂·м⁻²·ч⁻¹ из реплантоземов.

Среднее содержание и эмиссия углекислого газа в почвенном воздухе на данном участке значимо в 2-3 раза превышают таковые на участке I (почвы на маломощных техногенных отложениях) (p<0,05) при одинаковой скорости базального дыхания почв (различий БД в урбаноземах и серогумусовых техногенных почвах не обнаружено). Это говорит об аллохтонном происхождении углекислого газа – концентрация CO₂ в почвенном воздухе обусловлена его миграцией из техногенно-рекрементогенных отложений, где он образуется при разложении органического вещества, и из техногенных грунтов с мощной зоной аэрации, где происходит образование CO₂ в процессе бактериального окисления метана.

На данном участке также проводилось измерение содержания парниковых газов в атмосферном воздухе на разных высотах аналогично участку I. Территория площадью 1 км² вокруг точки отбора проб воздуха охватывает несколько жилых комплексов, а также часть природного заказника «Долина реки Сетунь». Площадь озелененных территорий сопоставима с участком I (60%), однако на данном участке древесные насаждения занимают меньшие площади (22%) (Рис. 22а).

Обнаружено, что содержание метана в атмосферном воздухе на разных высотах варьирует в пределах 1,94-2,49 ppm. Наблюдается значимое снижение концентрации CH₄ с высотой (однофакторный дисперсионный анализ, F(4;105)=5,82, p=0,0003) (Рис. 22б).

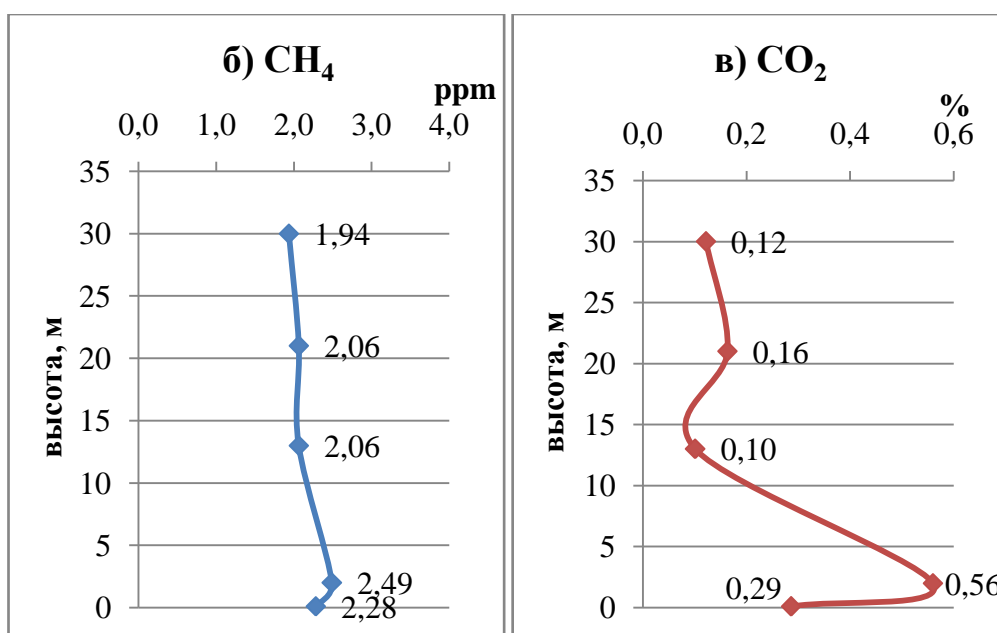


Рис. 22. Концентрации парниковых газов в приземной атмосфере на разных высотах: а) – характер территории; б) – распределение концентраций CH_4 ; в) – распределение концентраций CO_2 .

Содержание углекислого газа в приземной атмосфере достигает высоких величин ($0,29 \pm 0,02\%$), что на порядок превышает общепланетарный фон. На высоте 2 м оно сильно варьирует: наблюдается увеличение возле автомобильных дорог до 1,4%, связанное с выбросом автотранспорта, на строительной площадке среднее содержание $0,43 \pm 0,02\%$, что обусловлено интенсивным выбросом из мощных техногенных грунтов, где CO_2 образуется как при разложении органического вещества в аэробных условиях, так и в процессе бактериального окисления метана. Средняя концентрация

углекислого газа в атмосферном воздухе на высоте 2 м для участка составляет $0,56 \pm 0,04\%$. Полученные величины являются чрезвычайно высокими и опасными для здоровья человека, в некоторых случаях они превышают санитарно-гигиенические нормативы [ГН 2.2.5.2100-06, 2006].

С высотой происходит некоторое снижение концентрации углекислого газа. Отличия между содержанием CO_2 в атмосферном воздухе на разных высотах значимы ($F(4;105)=14,87$, $p=0,0000$), однако его концентрация все равно остается высокой ($0,12 \pm 0,02\%$) (Рис. 22в). Вероятно, это связано с более высокой антропогенной нагрузкой на данной территории, большим количеством источников выброса углекислого газа, а также с тем, что имеющиеся на участке зеленые насаждения не справляются со столь мощным потоком углекислого газа. Они снижают его концентрацию до определенного уровня, но эта величина в три раза превышает фон.

Таким образом, на участках с газогенерирующими техногенно-рекрементогенными отложениями, нижняя часть которых испытывает периодическое или постоянное подтопление, формируются аллохтонные газовые аномалии, охватывающие техногенные грунты в зоне аэрации, а также почвы и ТПО, сформированные на них. Интенсивные потоки метана из газогенерирующих слоев стимулируют развитие метанотрофных микроорганизмов и образование биогеохимических барьеров в грунтах на глубине 2-6 м. Нижняя граница биогеохимических барьеров зависит от мощности зоны аэрации, а активность бактериального окисления метана в них – от глубины залегания газогенерирующего слоя. Практически весь мигрирующий из залежи метан поглощается метанотрофными микроорганизмами, поэтому его эмиссия из почв и ТПО в атмосферу не выражена. Эмиссия углекислого газа в атмосферу увеличивается в зависимости от мощности зоны аэрации техногенных грунтов.

4.4. Газогеохимическое состояние и экологические функции почв и ТПО на техногенных грунтах засыпанных пойм, локально подстилаемых болотными отложениями

4.4.1. Особенности газогеохимического состояния почв и ТПО

Участок IV – Павшинская пойма р. Москвы

Газогеохимическое состояние и экологические функции естественных почв

Главным источником метана в природных почвах является его микробиологическое образование в профиле, протекающее в почвенных агрегатах с анаэробным центром. Известно, что в агрегатах микрофлора расположена в зависимости от потребности в кислороде: анаэробы занимают центр агрегата, а аэробы - периферическую область. Соотношение анаэробных и аэробных микрозон регулируется в первую очередь влажностью почвы и наличием доступного микроорганизмам субстрата [Степанов, Манучарова, 2006; Smith, 1980].

Активность бактериального образования метана варьирует в зависимости от гидроморфизма почв. В пределах изучаемой территории продуцирование автохтонного метана происходит в гидроморфных аллювиальных перегнойно-глеевых почвах, где оно варьирует по почвенному профилю, снижаясь от высоких величин ($0,18 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$) в верхних горизонтах до средних значений ($0,015 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$) - в нижних горизонтах. Средняя интенсивность метаногенеза составляет $0,13\pm 0,06 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, медианное значение $0,18 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$. *Активность бактериального окисления метана* также падает вниз по профилю от $33,0$ до $6,7 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$ (Рис. 23). Низкая активность метаноокисления в нижней части профиля обусловлена восстановительными условиями среды при обводнении профиля. Высокие интенсивности бактериального образования метана и достаточно высокая способность почв удерживать газ (среднее абиотическое поглощение равно $25,7\pm 3,1 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$)

приводят к накоплению свободного метана в профиле до 10,5 ppm. Избыток CH_4 выделяется в атмосферу ($0,11 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$).

Несмотря на большое содержание органического вещества в почвах (до 5,0% в перегнойном горизонте), его разложение в условиях повышенного увлажнения не приводит к образованию и накоплению углекислого газа в профиле. *Содержание в почвенном воздухе и эмиссия CO_2* в атмосферу низкие ($0,28 \pm 0,01\%$, $151,9 \pm 37,2 \text{ мгCO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, соответственно).

В автоморфных аллювиальных серогумусовых и дерново-подзолистых почвах средние значения *микробиологического образования метана* уменьшаются на порядок по сравнению с гидроморфными разностями и составляют $0,016 \pm 0,003$ и $0,033 \pm 0,01 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, соответственно. Аллювиальные серогумусовые почвы характеризуются очень низкими значениями *бактериального окисления метана* (средневзвешенные по профилю значения составляют $6,8 \pm 0,9 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$), дерново-подзолистые – низкими ($14,9 \pm 4,7 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$). Максимум активности бактериального окисления метана приходится на верхнюю часть профиля, где оно может достигать 20,5 и 42,5 $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, соответственно. Наблюдается строгая зависимость интенсивности поглощения метана от скорости его образования ($r=0,82$, $p<0,05$) (Рис. 23).

Благодаря функционированию метанотрофных бактерий накопления метана в профиле почв не происходит, концентрации CH_4 составляют по медиане 2,31-2,45 ppm.

Циклы образования и окисления метана замкнуты в автоморфных почвах, поэтому *эмиссия метана* в атмосферу, как правило, не проявляется (медианы 0,00 и $-0,01 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ для аллювиальных серогумусовых и дерново-подзолистых почв, соответственно). Почвы являются стоком атмосферного метана.

Содержание углекислого газа в аллювиальных серогумусовых и дерново-подзолистых почвах составляет $0,39 \pm 0,02$ и $0,28 \pm 0,02\%$,

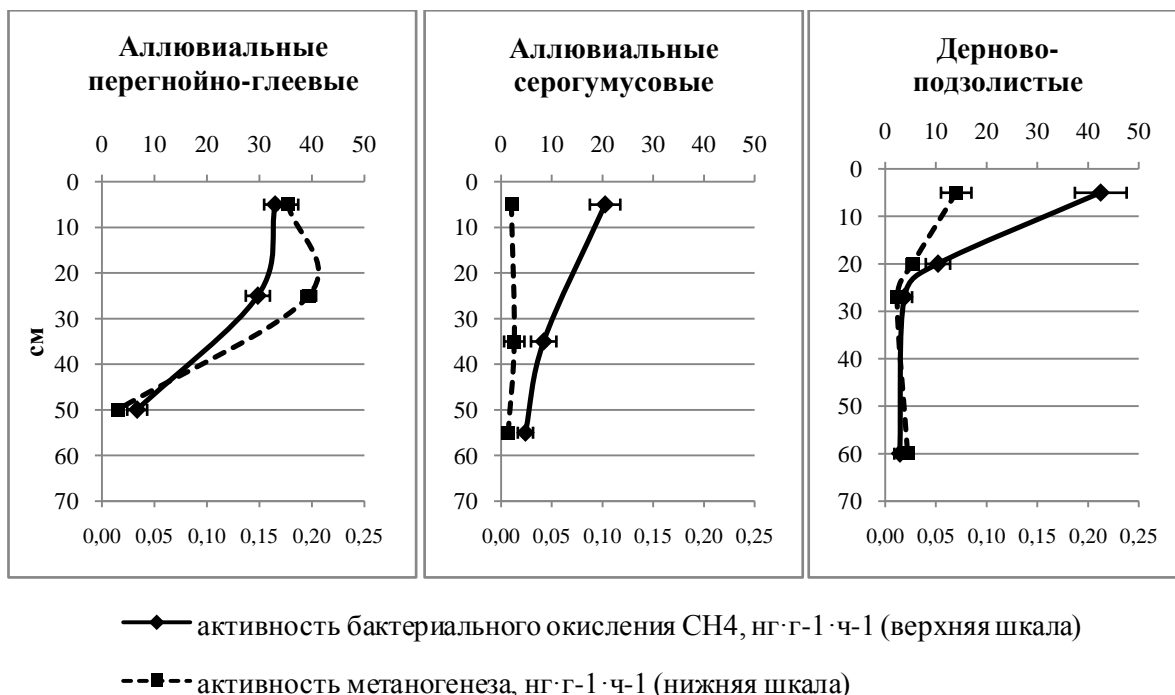


Рис. 23. Профильное распределение активности бактериального образования и окисления метана в естественных почвах участка IV.

соответственно. Увеличение в первом случае обусловлено большим содержанием органического вещества. Эмиссия варьирует незначительно и равна $232,9 \pm 25,6$ и $265,1 \pm 14,0$ $\text{mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Полученные результаты согласуются с литературными данными для автоморфных и временно переувлажненных почв естественных угодий [Курганова, 2010; Семенов и др., 2010; Le Mer, Roger, 2001].

Газогеохимическое состояние и экологические функции техногенных поверхностных образований, сформированных после засыпки поймы

После проведения инженерной подготовки территории поймы под строительство и ее засыпки техногенными грунтами были образованы ТПО – литостраты, органолитостраты и артиурбистраты.

Содержание свободного метана в техногенных поверхностных образованиях, сформированных после засыпки поймы, сильно варьирует по площади от 2,1 до 21460,0 ppm и зависит, главным образом, от свойств почвообразующих техногенных грунтов и подстилающих пород, а также подтопления территории.

Содержание метана в литостратах и органолитостратах имеет логнормальное распределение с преобладанием низких значений (медианы составляют 2,65 и 2,90 ppm при максимумах 3045,0 и 606,2 ppm, соответственно). Если под техногенными грунтами залегают органогенные отложения, концентрация метана в ТПО увеличивается до 3,03 и 3,89 ppm (медианы) в литостратах и органолитостратах. Максимальные значения достигают чрезвычайно высоких значений (2,1%), что обусловлено миграцией газа из органогенных слоев (торфа, сапропели). Содержание метана в профиле ТПО на участках с органогенными аллювиальными отложениями значительно отличается от такового на участках, где аллювиальные отложения не содержат органики ($p < 0,05$).

На исследованной территории выявлено продуцирование метана в техногенных поверхностных образованиях, расположенных на засыпанной низкой пойме и участке со старицей. Вследствие нарушений технологий инженерной подготовки территорий на этих участках отмечено подтопление техногенной толщи. Во многих разрезах наблюдались признаки оглеения и снижение окислительно-восстановительного потенциала (на 30-40 мВ) по сравнению с верхними горизонтами. *Активность бактериального образования метана* составляет по медиане 0,015 и 0,059 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$ в литостратах и органолитостратах, соответственно. Максимальные значения достигают 0,62 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$. Для этих ТПО характерны значимые положительные корреляционные связи активности бактериального образования метана и содержания органического углерода ($r=0,62$ $p < 0,05$).

На глубине 60 см в ТПО формируются биогеохимические барьеры средней и очень высокой емкости, в которых происходит окисление автохтонного и аллохтонного метана. Известно, что протекание бактериального образования в почвах стимулирует метанотрофных микроорганизмов [West, Schidt, 2002]. Активность бактериального окисления метана суммарно для литостратов и органолитостратов составляет по медиане 12,1 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, максимальные величины достигают очень высоких

значений (60-80 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$). Наблюдается тенденция увеличения интенсивности окисления CH_4 при усилении метаногенеза.

Увеличение содержания метана в почвенном воздухе также связано с неоднородным распределением строительного и бытового мусора в техногенных грунтах. В некоторых разрезах было обнаружено большое количество органических бытовых отходов, разложение которых привело к накоплению метана до 0,29%. Также здесь наблюдалась высокая эмиссия метана ($2,93 \text{ мг}\text{CH}_4\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$), приведшая к его накоплению в приземном слое атмосферы до высоких значений (64 ppm). На остальной территории эмиссия метана не выражена благодаря работе биогеохимических барьеров.

Содержание углекислого газа в профиле ТПО также сильно варьирует по площади исследуемых участков и зависит преимущественно от разложения органического вещества в аэробных условиях. Суммарно для литостратов и органолитостратов значения концентрации CO_2 в профиле низкие (медиана 0,23%, среднее $0,29\pm 0,03$). Базальное дыхание в техногенных горизонтах низкое ($0,36\pm 0,05 \text{ мкг}\text{CO}_2\text{-C}\cdot\text{г}^{-1}\text{ почвы}\cdot\text{ч}^{-1}$).

Невысокие значения скорости базального дыхания и содержания углекислого газа в почвенном воздухе обусловили низкую эмиссию CO_2 из исследованных ТПО ($91,7\pm 12,7 \text{ мг}\text{CO}_2\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$, медиана $61,9 \text{ мг}\text{CO}_2\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$). Концентрации CO_2 в приземной атмосфере превышают общепланетарный фон в 2-3 раза, однако это может быть связано с суммарным действием разных факторов, в том числе с выбросами автотранспорта.

Газогеохимическое состояние пелоземов существенно не отличается от такового литостратов и органолитостратов. Значимые отличия между свойствами слаборазвитых почв и ТПО не выявлены.

Газогеохимическое состояние и экологические функции реплантоземов

В ходе благоустройства территории на газонах создаются реплантоземы с рекультивационным горизонтом RAT, в котором при высоком содержании органического вещества ($4,96\pm 0,56\%$) происходит активное образование

метана (среднее $0,10 \pm 0,03$ $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, максимум $0,85$ $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$). Наличие внутриагрегатного образования метана стимулирует развитие метанотрофных микроорганизмов. В горизонтах РАТ образуется биогеохимический барьер, окисляющий собственный – автохтонный – метан, а также завершающий окисление аллохтонного метана, который не утилизируется в техногенных горизонтах. Активность бактериального окисления метана достигает $46,9$ $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Таким образом, в реплантоземах на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными, часто органогенными, отложениями, формируется *система биогеохимических барьеров*: в рекультивационном горизонте окисляющих автохтонный метан и остаточный аллохтонный метан, в техногенных горизонтах на глубине около 60 см – мигрирующий аллохтонный метан. Эмиссия метана в атмосферу не выражена.

Миграция аллохтонного углекислого газа из природных и техногенных грунтов, окисление метана на биогеохимических барьерах, а также минерализация органического вещества в горизонтах РАТ приводит к формированию углекислотных газовых аномалий со средней концентрацией CO_2 $0,38 \pm 0,02\%$ (максимум достигает $0,9\%$). Скорость базального дыхания в горизонтах РАТ велика ($4,34 \pm 0,38$ $\text{мкг} \text{CO}_2\text{-C} \cdot \text{г}^{-1} \text{почвы} \cdot \text{ч}^{-1}$). Наблюдается сильное варьирование эмиссии углекислого газа от средних до чрезвычайно высоких значений ($317,6 \pm 41,9$ $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, максимально более 1000 $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$).

В результате интенсивного выброса CO_2 из реплантоземов его концентрации в атмосферном воздухе составляют $0,25 \pm 0,01\%$, что на порядок превышает общепланетарный фон и достигают опасного для здоровья человека уровня.

Участок V - пойма р. Сетунь

Содержание метана в природных аллювиальных серогумусовых глеевых и перегнойно-глеевых почвах, распространенных на участке V, невелико и составляет $3,3 \pm 0,4$ ppm. Редко наблюдается увеличение концентрации до $9,9$

ppm, связанное с образованием метана в глеевых горизонтах почв при интенсивном увлажнении. Активность метаногенеза достигает $0,11 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, что характерно для гидроморфных почв. Окисление метана выражено слабо, в среднем составляет $4,6\pm 1,1 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, иногда увеличиваясь до $16,6 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$ в более сухих почвах. Эмиссия CH_4 в целом не выражена, однако наблюдаются локальные всплески до $0,39 \text{ мг}\text{CH}_4\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$.

В литостратах, сформированных после засыпки территории, содержание метана выше и составляет в среднем $5,7\pm 1,4 \text{ ppm}$ с локальными повышениями до $47,2 \text{ ppm}$, по всей видимости, связанными с разложением органического вещества в привезенных техногенных грунтах. Бактериальное окисление очень низкое ($1,8\pm 0,7 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, максимум $5,8 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$), однако оно справляется с образующимся метаном, т.к. эмиссии газа из исследуемых ТПО не наблюдаются.

Отсутствие интенсивного выделения метана из почв и ТПО обуславливает низкие его концентрации в приземной атмосфере ($2,19\pm 0,07 \text{ ppm}$), что незначительно превышает среднее значение для Москвы ($2,02 \text{ ppm}$) [Доклад «О состоянии...», 2015].

Концентрация углекислого газа в природных почвах и ТПО на глубине 60 см значительно отличаются (при $p < 0,05$) и составляют $0,28\pm 0,04$ и $0,54\pm 0,07\%$, соответственно. Вероятно, это связано с лучшими условиями аэрации для образования CO_2 в ТПО по сравнению с обводненными глеевыми горизонтами почв. В верхних горизонтах ТПО содержание углекислого газа снижается до $0,23\pm 0,04\%$, в богатых органическим веществом гумусовых и перегнойных горизонтах, наоборот, увеличивается в 2 раза ($0,42\pm 0,06\%$) за счет минерализации органики. Это приводит к значимым ($p < 0,05$) различиям в эмиссии углекислого газа в атмосферу. Для литостратов она составляет $144,6\pm 58,2 \text{ мг}\text{CO}_2\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$, что сопоставимо с ТПО других исследованных нами участков; для аллювиальных почв – $493,3\pm 74,1 \text{ мг}\text{CO}_2\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$.

Концентрации CO_2 в атмосфере в 3,5 раза превышают фоновые и достигают $0,14\pm 0,003\%$, что может быть связано как с интенсивным

выделением из почв, так и с выбросами транспорта от расположенных рядом крупных автомагистралей.

4.4.2. Сезонная динамика активности бактериального окисления метана и эмиссии парниковых газов из ТПО на техногенных грунтах засыпанных пойм

Сезонные наблюдения за газогеохимическим состоянием и экологическими функциями ТПО на техногенных грунтах засыпанных пойм показали, что активность бактериального образования и окисления метана, а также эмиссия CO_2 и CH_4 в атмосферу характеризуются высокой временной вариабельностью.

В техногенных поверхностных образованиях (литостратах) активность бактериального окисления метана невысокая в холодный период. В зимний период наблюдаются низкие значения АБО ($8,5 \pm 1,0 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$), которые, однако, отличны от нуля. Это обусловлено миграцией аллохтонного метана из техногенных грунтов, стимулирующей развитие метанотрофов даже при низких температурах, а также тем, что в связи с относительно высокой для зимы температурой почвы не успели промерзнуть. Весной бактериальное окисление метана увеличивается, однако прирост незначителен, что обусловлено длительным периодом выхода микроорганизмов из латентного состояния (Рис. 24а).

Максимальная активность метаноокисления в ТПО ($21,6 \pm 2,3 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$) проявляется в летний период, когда активность бактериального образования метана в них минимальна, что говорит о формировании биогеохимического барьера, утилизирующего аллохтонный метан. В осенний период скорость окисления метана падает примерно в 1,5 раза, что связано с понижением температуры почвы, увеличением влажности и повышением растворимости метана в почвенной влаге и, соответственно, снижением его доступности для микроорганизмов (Рис. 24а,в).

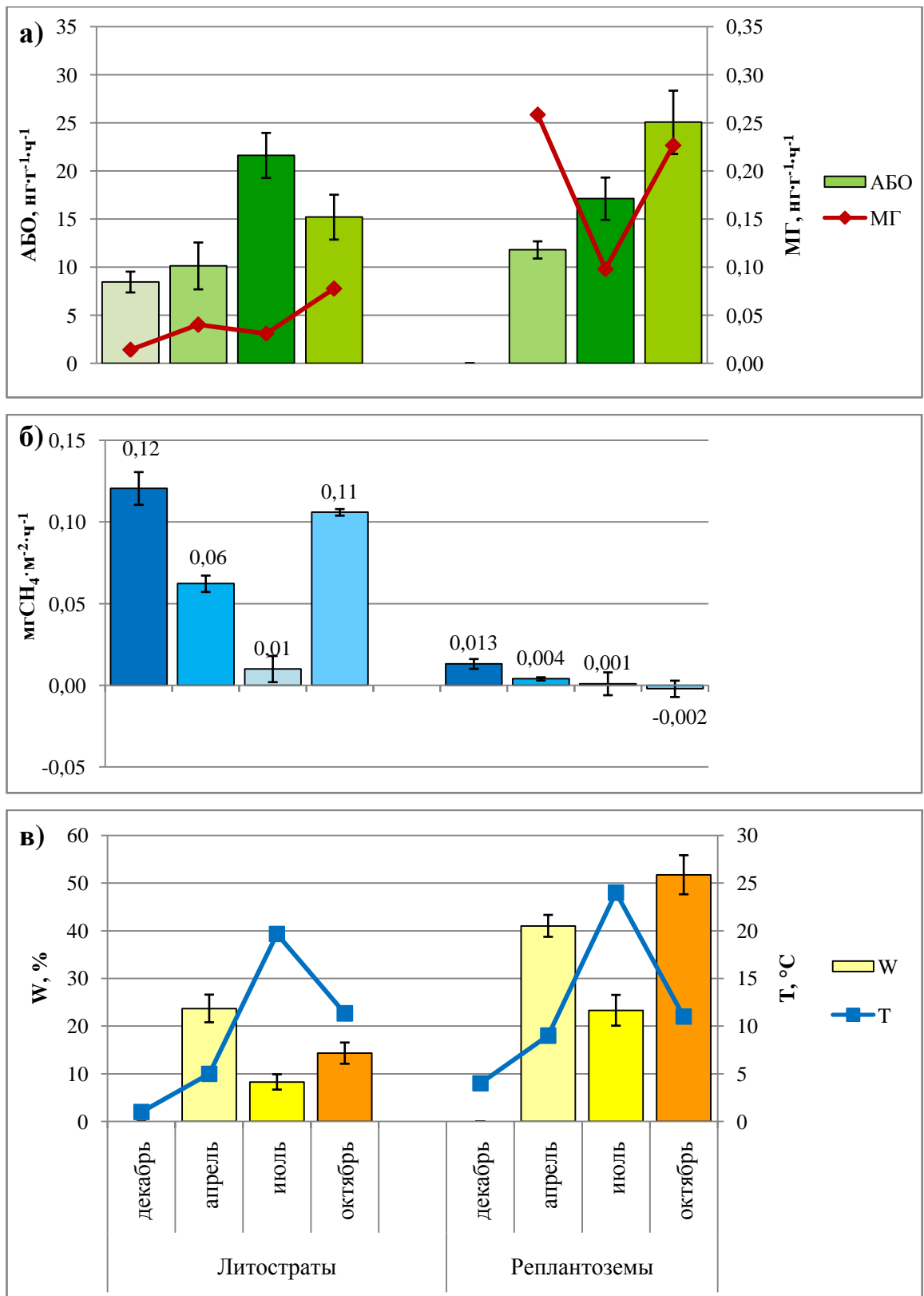


Рис. 24. Сезонная динамика активности бактериального образования и окисления метана (А) и его эмиссии в атмосферу (Б) в зависимости от влажности и температуры (В) поверхностных горизонтов ТПО.

Наблюдается тенденция увеличения скорости бактериального образования метана с повышением влажности техногенных горизонтов. Наиболее высокая активность метаногенеза характерна для весеннего и осеннего периодов. Весной, несмотря на большую влажность, интенсивность продуцирования метана в литостратах в 2 раза ниже, чем осенью, что может быть связано с более низкой температурой, угнетающей микроорганизмы.

В реплантоземах в весенний и осенний периоды при повышенной влажности в горизонтах РАТ происходит мощное образование метана, которое в 3-6 раз выше, чем в литостратах, за счет высокого содержания органического вещества ($4,96 \pm 0,56\%$). Внутриагрегатный метаногенез стимулирует развитие метанотрофных бактерий и усиливает скорость окисления метана, несмотря на невысокую температуру (Рис. 24а,в). Однако весной активность метаноокисления в 2 раза ниже, чем осенью, что связано с долгим выходом метанотрофов из латентного состояния. В летний период наблюдается снижение в 2-2,5 раза скорости продуцирования метана по сравнению с весной и осенью, обусловленное снижением влажности. Активность бактериального окисления CH_4 в этот период ниже, чем у литостратов, т.к. рекультивационные горизонты не испытывают столь сильного влияния аллохтонного метана, как горизонты ТСН, и окисляют преимущественно автохтонный CH_4 .

Литостраты на техногенных грунтах засыпанных пойм являются источником атмосферного метана в течение всего года, однако интенсивность потока различается по сезонам (Рис. 24б). В зимний и весенний периоды средняя эмиссия метана достигает 0,12 и 0,06 $\text{мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, соответственно, что, по-видимому, обусловлено невысокой активностью бактериального окисления метана, которая является недостаточной для поглощения всего аллохтонного и автохтонного метана. В осенний период также наблюдается интенсивное выделение CH_4 в атмосферу, связанное с усилением метаногенеза. Летом эмиссия метана

незначительна, благодаря тому, что под действием аллохтонного метана в ТПО развивается мощный пул метанотрофных бактерий.

Эмиссия метана из реплантоземов в течение всего года на порядок ниже, чем из литостратов. В весенний период наблюдается дисбаланс процессов образования и окисления метана, приводящий к его выделению в атмосферу. Летом снижение скорости метаногенеза обуславливает уменьшение потока CH_4 . Осенью, несмотря на высокую интенсивность образования метана, он поглощается метанотрофами, пул которых велик, поэтому выделения метана в атмосферный воздух не происходит (Рис. 24б).

Эмиссия углекислого газа из техногенных поверхностных образований подчиняется сезонной динамике температуры (Рис. 25). Она не прекращается в зимний период, но характеризуется минимальными значениями. Летом и осенью происходит увеличение скорости выделения CO_2 в атмосферу, связанное с активизацией дыхания почвенных микроорганизмов. Если в зимний и весенний периоды эмиссия из литостратов и реплантоземов является одинаково низкой, то летом и осенью наблюдаются существенные отличия. Эмиссия CO_2 из реплантоземов в 2,5-4 раза превышает его выделение из литостратов, что связано с более высоким (в 5 раз) содержанием органического углерода.

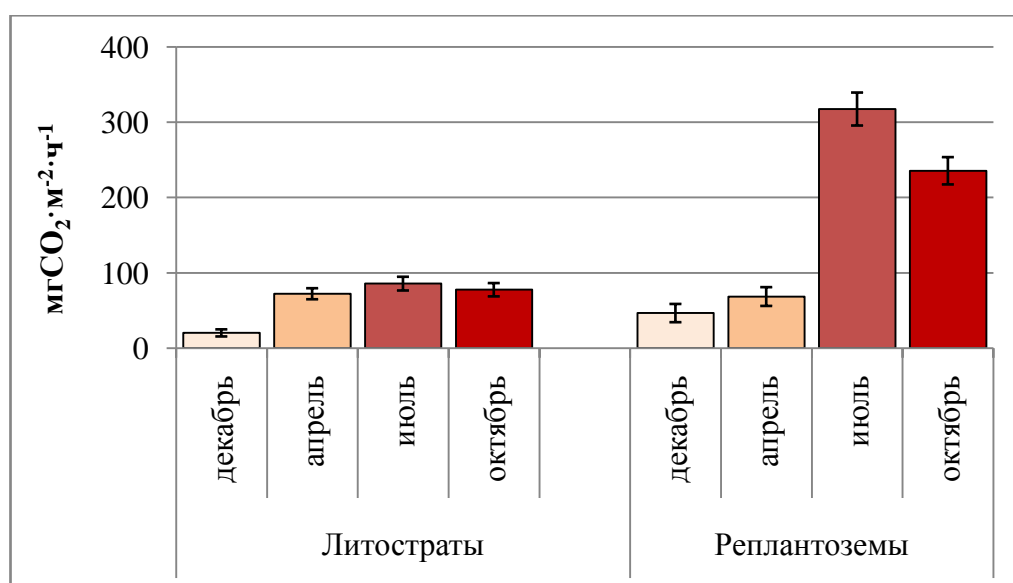


Рис. 25. Сезонная динамика эмиссии углекислого газа в атмосферу.

Следует отметить, что в летний период средний поток углекислого газа из реплантоземов и литостратов был ниже, чем из природных почв различных экосистем южной тайги, где он не опускался ниже $370 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, иногда достигая $1400 \text{ мгСО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ [Курганова, 2010].

Таким образом, активность бактериального окисления метана увеличивается от зимы к лету и снижается осенью, что обусловлено сезонными колебаниями температуры и влажности техногенных поверхностных образований, влияющих на жизнедеятельность микроорганизмов. Сезонная динамика эмиссии метана определяется бактериальным окислением. Литостраты в течение всего года являются источником атмосферного метана, реплантоземы – только в зимний и весенний периоды. Эмиссия углекислого газа не прекращается в зимнее время, усиливается к лету и снижается осенью, подчиняясь сезонному ходу температуры. Поток СО_2 из реплантоземов в 2,5-4 раза превышает таковой из литостратов в теплый период.

4.4.3. Пространственный прогноз выброса парниковых газов из почв и ТПО на техногенных грунтах засыпанных пойм

На основе пространственного прогноза эмиссии парниковых газов и активности бактериального окисления метана была рассчитана величина общего выброса парниковых газов и поглощения метана с площади Павшинской поймы (148 га) для двух этапов застройки (Рис. 26). Первый этап состоял в засыпке поймы техногенными грунтами в ходе инженерной подготовки для строительства и формирования техногенных поверхностных образований. На втором этапе было произведено благоустройство и озеленение застроенных участков с созданием реплантоземов на придомовых и придорожных газонах. Значительная часть территории (более 57%) на данном этапе запечатана под зданиями и дорожным покрытием. Расчеты

поводились для теплого периода года (161 день), когда среднесуточная температура воздуха составляет более 10°C [Доклад «О состоянии...», 2015].

Для осуществления прогноза на основе топографических карт разных лет и материалов геологической съемки данной территории была составлена геоморфологическая картосхема, отражающая основные элементы поймы, а также распространение органогенных аллювиальных отложений (включения органики, слои торфа и сапропели) (Рис. 27).

Эмиссия парниковых газов и окисление метана были измерены на ключевых участках, охватывающих все элементы поймы – низкую и центральную пойму, заболоченные участки с органогенными аллювиальными отложениями, пойму р. Баньки. Характеристика участков приведена в Табл. 12.

Табл. 12. Характеристика ключевых участков.

Участок	Мощность и состав техногенных грунтов	Уровень грунтовых вод, м*	Характеристика погребенных органогенных отложений*
Низкая пойма	0,2-5,5 м; суглинки и пески с включением мусора до 25% (асфальтовая крошка, битый кирпич, обломки бетона и железного лома)	0,2-3,9	отсутствуют
Центральная пойма	0,7-6,2 м; суглинки и пески с включением мусора 5-30% (битый кирпич, обломки бетона, арматуры, стекло, древесина, пластик)	2,1-6,9	отсутствуют
Пойма р. Баньки	до 3 м; суглинки и пески с незначительным содержанием мусора (до 5%)	0,4-3,7	включения органики в аллювиальных отложениях, залегающих под техногенными грунтами, верхняя граница слоя – 0,3-5,8 м, мощность – 0,4-7,8 м
Заболоченный участок	0,3-7,3 м; суглинки и пески с содержанием мусора до 30% (битый кирпич, бетон, стекловата, древесина, пластик)	0,0-3,1	слои торфа, сапропели, включения органики в аллювиальных отложениях, верхняя граница слоя – 0,1-3,9 м, мощность – 1,2-7,2 м

*- данные по уровню грунтовых вод и верхней границе слоев с органогенными аллювиальными отложениями приведены до засыпки поймы техногенными грунтами



Рис. 26. Картосхемы этапов освоения территории Павшинской поймы.



Рис. 27. Геоморфологическая картосхема Павшинской поймы р. Москвы.

Пространственный прогноз выброса парниковых газов и количества метана, потребленного в процессе бактериального окисления, проводился с помощью сравнительно-географического метода. Для расчетов использовались медианы значений эмиссии газов и метаноокисления. Расчет суммарного количества эмитировавшего и окисленного метана осуществлялся с учетом его коэффициента глобального потепления. Окисление метана рассчитывалось для массы метровой толщи почвы (ТПО).

На первом этапе застройки данной территории была проведена планировка поверхности с использованием техногенных грунтов для снижения уровня грунтовых вод. Однако вдоль рек сохранились небольшие участки с ненарушенной природной растительностью и почвами.

Результаты расчета выброса парниковых газов и количества метана, потребленного в процессе бактериального окисления для первого этапа освоения поймы приведены в Табл. 13. Общий выброс парниковых газов со всей площади поймы (148 га) за теплый период составил 468,71 тСО₂-экв. При этом величина выброса определяется главным образом эмиссией углекислого газа из почв и ТПО. Доля метана в общем выбросе парниковых газов составляет менее 1%.

Табл. 13. Суммарный выброс парниковых газов и количество окисленного метана в почвах и ТПО после засыпки поймы техногенными грунтами.

Участок		S, га	Суммарный выброс парниковых газов, тСО ₂ -экв	Доля СО ₂ и СН ₄ в составе выброса, %	Количество окисленного метана, тСО ₂ -экв
Низкая пойма	природ.	0,45	2,70 (0,05)*	98,2/1,8	14,27
	засыпан.	3,79	6,66 (0,00)	100/0	62,75
Центральная пойма	природ.	1,32	13,52 (0,00)	100/0	22,80
	засыпан.	108,31	294,20 (1,05)	99,6/0,4	2112,34
Пойма р. Баньки	природ.	3,08	27,81 (0,01)	99,98/0,02	22,29
	засыпан.	15,05	65,70 (0,00)	100/0	163,55
Заболоченные участки	засыпан.	15,90	58,13 (2,30)	96,0/4,0	393,22
Сумма		147,90	468,71 (3,36)	99,28/0,72	2714,18

*- в скобках приведен выброс метана, тСО₂-экв/га за период

Значительное количество метана, мигрирующего из природных и техногенных газогенерирующих отложений, а также образованного в профиле, окисляется в почвах и ТПО. Суммарное количество поглощенного метана составляет 2714,18 тСО₂-экв. Таким образом, из общего количества автохтонного и аллохтонного метана, лишь 0,12% выделяется в атмосферный воздух.

На втором этапе, когда большая часть поймы была застроена жилыми домами и проведено благоустройство придомовых территорий, суммарный выброс парниковых газов составил 625,61 тСО₂-экв за теплый период (Табл. 14). Однако следует отметить, что в связи с запечатанностью значительной части территории под зданиями и дорожным покрытием выброс происходит только с 42,5% площади исследуемой территории. В данном случае выброс парниковых газов оказался выше за счет более высокой интенсивности потока парниковых газов с поверхности реплантоземов в благоустроенных кварталах, что было показано ранее.

Табл. 14. Суммарный выброс парниковых газов и количество окисленного метана в почвах и ТПО после проведения благоустройства.

Участок		S, га	Суммарный выброс парниковых газов, тСО ₂ -экв	Доля СО ₂ и СН ₄ в составе выброса, %	Количество окисленного метана, тСО ₂ -экв
Природные участки		6,12	55,22 (0,01)*	99,98/0,02	44,25
Участки строительства	с погребенными орг. отложениями	3,97	14,53 (0,58)	96,04/3,96	98,28
	без орг. отложений на низкой пойме	3,53	7,95 (0,00)	100,0/0,0	124,84
	без орг. отложений на центр. пойме	4,53	12,30 (0,04)	99,64/0,36	206,00
Благоустроенные участки	с погр. орг. отложениями	5,18	49,63 (0,03)	99,95/0,05	423,57
	без орг. отлож.	38,97	485,98 (0,08)	99,98/0,02	2742,88
	запечатанные	85,60	0,00 (0,00)	0,0/0,0	0,00
Сумма		147,9	625,61 (0,74)	99,88/0,12	3639,83

*- в скобках приведен выброс метана, тСО₂-экв/га за период

Также наблюдается снижение доли метана в общем выбросе парниковых газов (с 0,72 до 0,12%). Этот факт свидетельствует о том, что в

рекультивационных горизонтах, созданных на спланированной техногенными грунтами поверхности, завершается окисление аллохтонного метана. Общее количество окисленного в почвах метана также возрастает благодаря высокой активности бактериального окисления CH_4 в горизонтах RAT за счет стимуляции метанотрофных микроорганизмов внутриагрегатным метаногенезом. Общее количество метана, утилизированного в профиле реплантоземов в 1,3 раза увеличивается по сравнению с литостратами.

На обоих этапах застройки в атмосферу выделяется гораздо меньше метана (0,12 и 0,02%), чем окисляется в почвах и ТПО.

Таким образом, суммарный выброс парниковых газов с территории Павшинской поймы увеличивается после проведения благоустройства возведенных жилых кварталов за счет более интенсивной эмиссии углекислого газа из реплантоземов по сравнению с литостратами.

4.5. Общие закономерности формирования биогеохимических барьеров в почвах и ТПО на техногенных грунтах

Как было показано выше, в почвах и техногенных поверхностных образованиях на исследуемых участках происходит формирование биогеохимических барьеров, выражающееся в увеличении активности бактериального окисления метана за счет притока аллохтонного метана из газогенерирующих техногенных и природных отложений или усиления внутриагрегатного образования метана в условиях подтопления территорий и/или высокого содержания органического вещества.

В автоморфных почвах на маломощных техногенных отложениях без притока аллохтонного метана и при низких активностях метаногенеза (слабый автохтонный источник CH_4) формируются малоемкие биогеохимические барьеры (со средней активностью АБО, не превышающей $5,0 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$), на которых происходит поглощение атмосферного метана. В

остальных случаях наблюдается формирование среднеемких и емких биогеохимических барьеров, в которых активность бактериального окисления метана значимо возрастает в 4-5 раз (средние значения АБО варьируют от 16,8 до 21,4 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$) (Рис. 28). Активность бактериального окисления метана значимо не различается при аллохтонном, автохтонном и смешанном источниках метана.

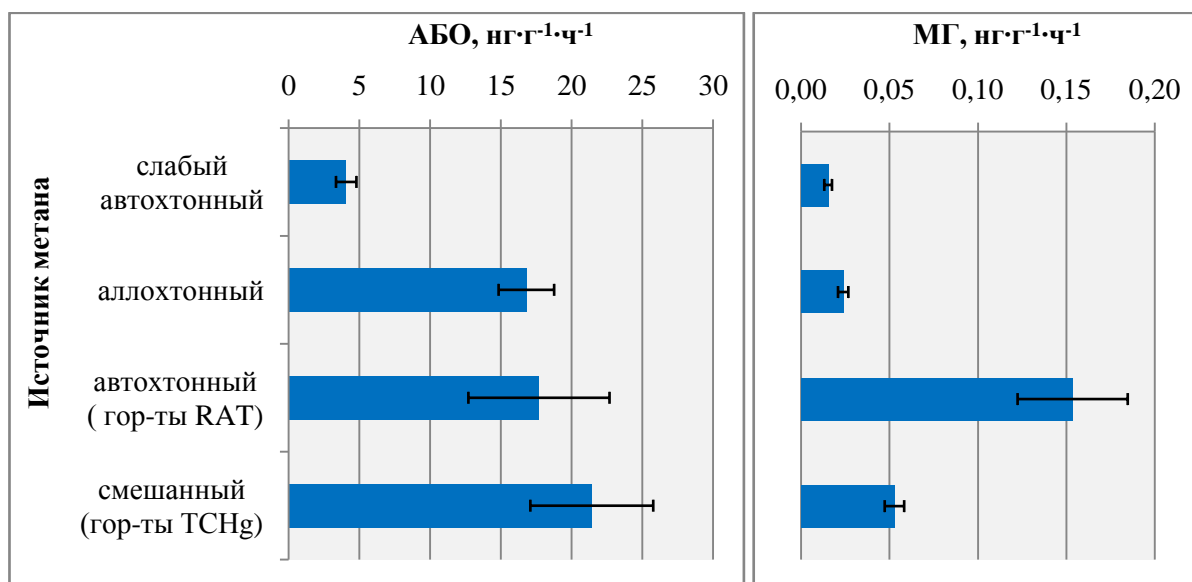


Рис. 28. Соотношение активностей бактериального образования (МГ) и окисления метана (АБО) в биогеохимических барьерах.

Установлено, что в рекультивационных (RAT) и техногенных с признаками оглеения (TCHg) горизонтах происходит автохтонное (внутриагрегатное) образование метана, активность которого различается в зависимости от содержания органического вещества. Однако если в горизонтах RAT отмечается тесная прямая корреляционная связь между активностью бактериального образования и окисления метана ($r=0,71$, $p<0,05$), что свидетельствует о преимущественном поглощении автохтонного метана, то в горизонтах TCHg эта зависимость носит умеренный характер ($r=0,42$, $p<0,05$). Это обусловлено тем, что на биогеохимических барьерах в техногенных горизонтах утилизируется как автохтонный внутриагрегатный, так и аллохтонный, мигрирующий из нижележащих газогенерирующих грунтов метан. В случае формирования биогеохимических барьеров, утилизирующих только аллохтонный метан, значимая зависимость между

активностями внутрипочвенного метаногенеза и метаноокисления отсутствует.

Известно, что внутриагрегатный метаногенез стимулирует развитие метанотрофных бактерий [West, Schidt, 2002], поэтому активность бактериального окисления метана в горизонтах ТСН_g несколько выше, чем в почвах, утилизирующих только аллохтонный метан или автохтонный метан.

Распределение активности бактериального окисления метана по профилю почв и ТПО в условиях миграции аллохтонного метана и усиления внутрипочвенного метаногенеза различается. В первом случае максимум активности бактериального окисления метана приурочен к нижней и средней части профиля как реакция на приток СН_4 из более глубоких слоев. Во втором случае в почвах с биогеохимическими барьерами, утилизирующими автохтонный метан, максимальные значения АБО наблюдаются, как правило, в гумусовых горизонтах в ответ на усиление метаногенеза (Рис. 29).

Если рекультивационный горизонт РАТ залегает на техногенном горизонте, формируется *система биогеохимических барьеров* (Рис. 29д), приуроченных к верхним 10 см и нижним 60 см, в которых происходит окисление как собственного (автохтонного), так и аллохтонного метана. Большая часть аллохтонного метана поглощается в техногенных горизонтах, оставшийся газ диффундирует вверх, где утилизируется на емких биогеохимических барьерах в рекультивационных горизонтах. В результате этого даже при мощном потоке метана из газогенерирующих грунтов, его эмиссия в атмосферу не выражена.

Таким образом, биогеохимические барьеры формируются в почвах, подверженных влиянию метана, мигрирующего из природных и техногенных газогенерирующих грунтов, а также при активном метаногенезе, протекающем внутри почвенных агрегатов. Барьеры, окисляющие аллохтонный метан, приурочены к нижним горизонтам; барьеры, окисляющие автохтонный метан, могут формироваться в любом горизонте в

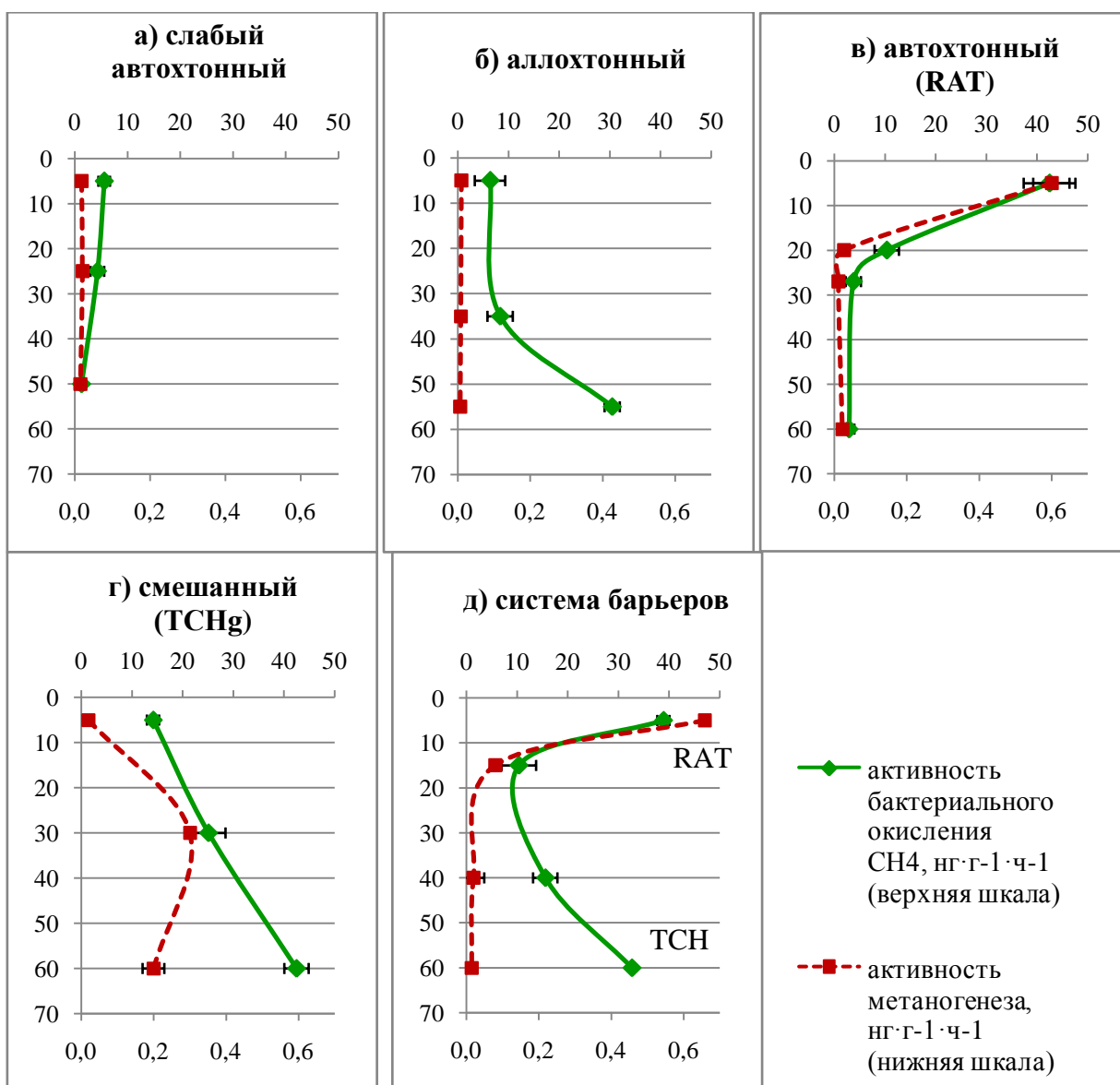


Рис. 29. Профильное распределение активностей образования и окисления метана в почвах в зависимости от источника CH_4 .

зависимости от профильного распределения активности бактериального образования метана.

4.6. Интенсивность выброса парниковых газов

На основе полученных результатов были рассчитаны интенсивности выбросов парниковых газов из почв и ТПО на исследованных участках для теплого периода года (161 день), когда среднесуточная температура воздуха составляет более $10^{\circ}C$ [Доклад «О состоянии...», 2015]. Расчет проводился

совместно для диоксида углерода и метана с учетом их коэффициентов глобального потепления.

В составе выбросов парниковых газов из почв и ТПО на техногенных грунтах преобладает диоксид углерода. Естественные и антропогенные почвы с развитыми гумусово-аккумулятивными горизонтами, а также реплантоземы выделяют большее количество парниковых газов, чем литостраты и органолитостраты (Рис. 30а,б), что связано с разной активностью дыхания почв и ТПО, а также, вероятно, с незначительным вкладом дыхания корней растений в выброс парниковых газов с (органо)литостратов.

Выявлено усиление интенсивности выброса парниковых газов из урбаноземов и реплантоземов в ряду увеличения мощности техногенных отложений при одинаковом базальном дыхании почв (при $p < 0,05$ значимых отличий не обнаружено). Это связано с миграцией углекислого газа из техногенной толщи, где он образуется при аэробном разложении органического вещества, а также в результате бактериального окисления метана. В рекреаземах на маломощных техногенных грунтах (Ботсад МГУ) происходит нарастание интенсивности выброса за счет большого вклада почвенных грибов и мезофауны.

Аналогичная картина роста интенсивности выброса парниковых газов по мере увеличения мощности техногенных грунтов наблюдается для литостратов и органолитостратов.

В случае глубинного нарушения грунтовой толщи (например, бурении скважин) происходит конвективный перенос парниковых газов из газогенерирующих слоев и высокоинтенсивный выброс в атмосферу (Рис. 30в). Интенсивность выбросов сопоставима с аллювиальными перегнойно-глеевыми почвами и урбаноземами на мощных техногенных отложениях. В составе выбросов появляется метан, доля которого варьирует от 0 до 89%. По выбросу из скважин можно косвенно судить об активности газогенерации в грунтах. Выявлено, что природные отложения (торфа, сапропели) выделяют

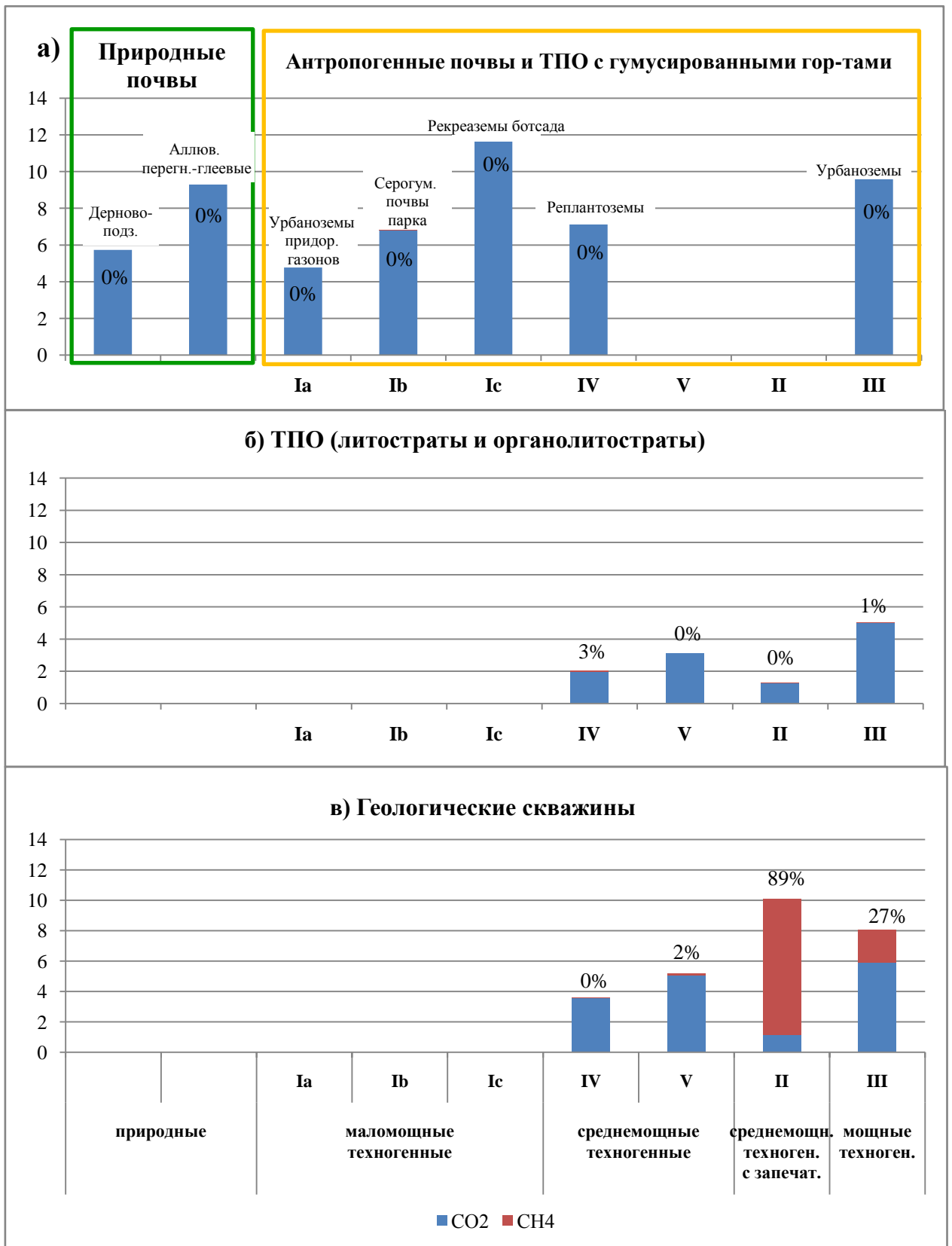


Рис. 30. Интенсивность выброса (т/га за сезон) парниковых газов (римскими цифрами показаны номера участков исследования, арабскими – доля метана в составе выбросов).

меньшее количество парниковых газов, чем техногенно-рекрементогенные грунты. Запечатанность территории способствует активному образованию метана в анаэробной обстановке, что объясняет максимальную долю этого газа в составе выбросов на участке II.

4.7. Возможности применения искусственных почвенных конструкций для поглощения метана при высоком его токе

В ходе модельного эксперимента были выявлены высокие скорости биофильтрации метана, имеющие сезонные особенности. Результаты также показывают, что скорость поглощения метана почвенными конструкциями различается в зависимости от типа органического субстрата (Рис. 31). Для конструкции с почвой установлен рост скорости биофильтрации метана с начала опыта до середины осени с $32,1 \pm 3,0$ до $45,4 \pm 4,2$ $\text{г} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ при стабильно невысоких значениях его эмиссии ($0,02 \pm 0,005$ $\text{мг} \text{CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$). В зимний период скорость биофильтрации снижалась до $20,5 \pm 2,1$ $\text{г} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$, и наблюдалось значительное увеличение эмиссии газа в атмосферу ($0,84 \pm 0,17$ $\text{мг} \text{CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$). Конструкции с искусственными субстратами характеризуются близкими скоростями окисления метана, составляющими в теплое время года $15,3$ - $20,1$ $\text{г} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ и снижающимися в $1,5$ - 2 раза в холодный период. Можно отметить, что в целом конструкция с компостом демонстрирует на 25% более высокие значения поглощения газа, что мы связываем с более благоприятными условиями для развития метанооксиляющих микроорганизмов, прежде всего значениями рН и С:N. Сказанное подтверждается результатами определения потенциального окисления метана, показавшими более высокие значения для конструкции с компостом: $15,2$ $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ и $10,7$ $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, соответственно.

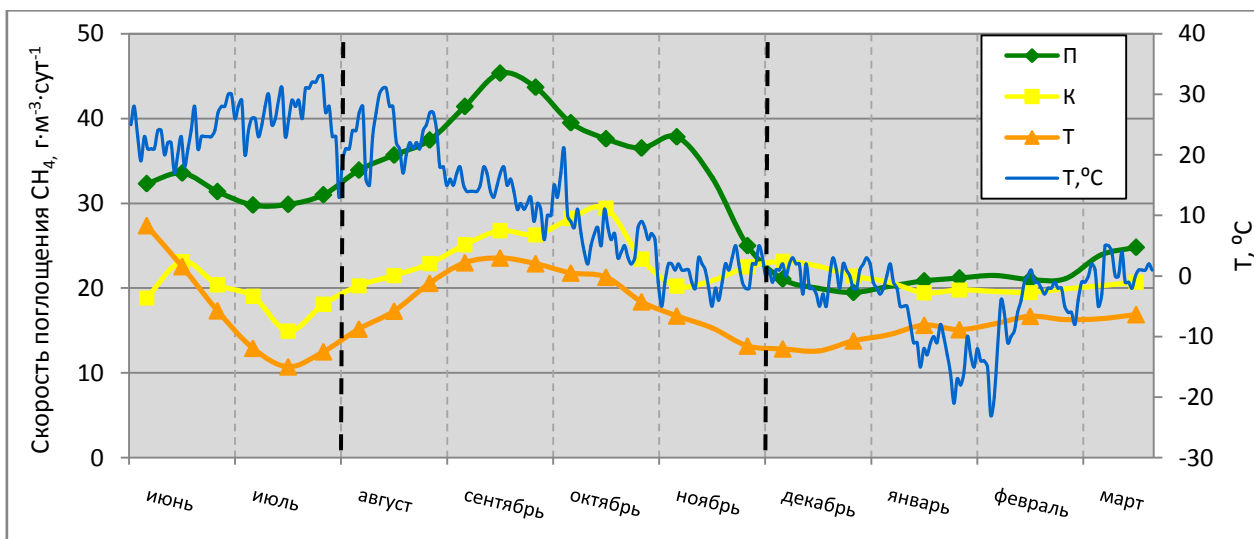


Рис. 31. Динамика поглощения метана искусственными почвенными конструкциями (здесь и далее П – конструкция с почвой, К – конструкция с компостом, Т – конструкция с торфом).

Сезонная динамика биофильтрации метана подчиняется общим закономерностям развития микроорганизмов и дифференцируется температурными условиями. С начала опыта можно выделить 3 стадии биофильтрации: *стадию адаптации* (июнь-июль), выражающейся в некотором снижении скоростей поглощения метана относительно начала эксперимента, *стадию гомеостаза* (август-ноябрь), в течение которого демонстрируются наибольшие скорости поглощения метана, *стадию стресса* (декабрь-март) с минимальными значениями биофильтрации (Рис. 31). Снижение скоростей поглощения метана в период адаптации может объясняться перестройкой структуры микробного сообщества под действием вводимого газа. Во время стадии гомеостаза сообщество метанотрофов достигает оптимального состояния по сравнению с началом эксперимента, что также связано с оптимальными внешними условиями для его функционирования. Стадия стресса соответствует сезонному снижению температур до отрицательных значений в зимний период, подавляющих жизнедеятельность метанотрофов.

Интересно отметить, что температура воздуха равная нулю, является своеобразной критической точкой, так как скорость поглощения метана в

таких условиях резко снижается (ноябрь). Однако дальнейшее понижение температуры уже не влияет на интенсивность биофильтрации – весь зимний период метан поглощается примерно с одинаковой скоростью. Важно, что его поглощение продолжается, несмотря на крайне неблагоприятные условия для метанотрофных микроорганизмов. Это явление мы связываем с наличием теплых дней в зимний период, когда происходило оттаивание почвы.

Высокие скорости окисления метана в летний период соответствуют практически 100% поглощению газа и эмиссия почти не выражена. Однако по мере понижения температуры бактериальный фильтр уже не справляется с введенным газом: утилизация газа в осенний период составляет 92,4% для конструкции с компостом и 72,8% - для конструкции с торфом; в зимнее время года эти значения составили 43,2 и 23,8%, соответственно (Рис. 32).

Значения поглощения метана в конструкциях коррелируют с пулом метанотрофных организмов в этих системах, что является фактором дифференциации эмиссии метана. Наблюдается выраженная сезонная динамика эмиссии метана с поверхности искусственных почвенных конструкций. Риск загрязнения атмосферы метаном можно оценить как минимальный – летом, средний – осенью и высокий – зимой.

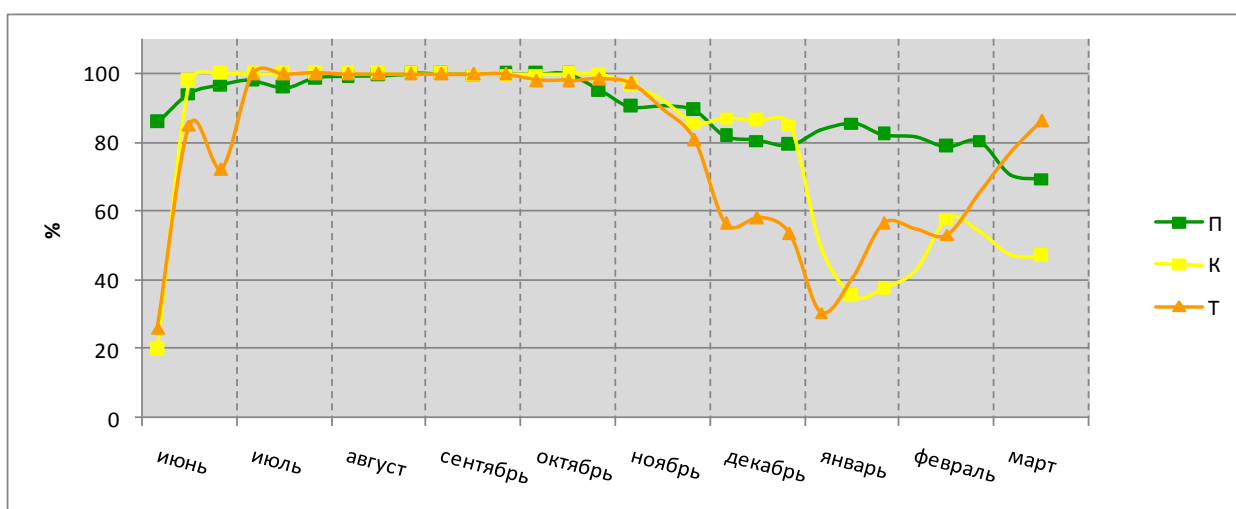


Рис. 32. Эффективность поглощения CH_4 почвенными конструкциями.

В динамике содержания CO_2 в конструкциях четко выделяются 2 этапа – интенсивного образования в летне-осенний период (содержание газа

1,0±0,3%), связанный с активным функционированием микробных сообществ, и минимального проявления в зимний период (0,1±0,0%), когда жизнедеятельность микроорганизмов подавлена отрицательными температурами. Эмиссия газа в эти периоды составила 183,7±15,8 мгСО₂·м⁻²·ч⁻¹ (летний сезон), 45,8±3,2 мгСО₂·м⁻²·ч⁻¹ (осенний период) и 1,5±1,2 мгСО₂·м⁻²·ч⁻¹ (зимний сезон). В летний период эмиссия СО₂ из конструкций с искусственными субстратами в 2 раза ниже, чем из реплантоземов.

Интересно отметить, что сообщество микроорганизмов в конструкции с торфом более чувствительно к низким температурам по сравнению с остальными конструкциями, поэтому содержание СО₂ в ней падает до нулевых отметок на месяц раньше. Максимальные концентрации газа выявлены в конструкции с компостом (в среднем около 4,5% об.), что можно объяснить легкодоступным для микроорганизмов типом органического субстрата и его интенсивной минерализацией, а также высоким содержанием питательных веществ.

Анализ изменения окислительно-восстановительного потенциала говорит о том, что функционирование систем происходит при доминировании окислительных условий (430-500 мВ), что оптимально для метанотрофов. В зимний период происходит резкий скачок Eh (700-740 мВ) в связи с уменьшением содержания СО₂ и усилением аэрации. В летний период, когда концентрация углекислого газа максимальна, наблюдается локальное понижение Eh в конструкции с компостом, в которой его содержание в среднем в 2 раза выше, чем в других конструкциях, характеризующихся стабильными значениями Eh.

Помимо вводимого нами метана, его дополнительным источником в конструкциях может выступать процесс бактериального образования, связанный с деятельностью метаногенных бактерий, продуцирующих метан из углекислого газа и водорода. Однако результаты определения активности бактериального образования метана показывают, что в конструкциях с

почвенным монолитом и торфом данный показатель соответствует автоморфным почвам ($<0,01 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$), в конструкции с компостом – полугидроморфным ($0,01-0,06 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$). Причем в последней наблюдается двукратное увеличение активности метаногенеза через 3 месяца после начала эксперимента – период максимального содержания углекислого газа. Однако даже при скорости образования метана равной $0,06 \text{ нг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$ в месяц в конструкции образуется всего 270 ppm в месяц, что в 100 раз меньше концентрации вводимого нами метана. Поэтому увеличение содержания метана за счет метаногенеза крайне незначительно и в условиях опыта им можно пренебречь.

Анализ динамики микробной биомассы выявил резкий рост, на порядок, в обеих конструкциях с искусственными субстратами (с 80 до 600 мкг $\text{С}\cdot\text{г}^{-1}$ почвы). Это можно объяснить тем, что почвогрунты являются молодыми системами, где только начинается расселение микроорганизмов по объему субстрата. Стоит отметить, что в конструкции с компостом рост микробной биомассы идет значительно быстрее, чем в конструкции с торфом, что может объясняться более доступным для микроорганизмов типом органического субстрата. Однако максимальные величины, на которые выходит микробная биомасса, одинаковы в обеих конструкциях с почвогрунтами. Для конструкции с почвой выявлена стабильность микробной биомассы по ходу эксперимента (1050-1350 мкг $\text{С}\cdot\text{г}^{-1}$ почвы) (Табл. 15).

Табл. 15. Динамика микробной биомассы в субстратах искусственных почвенных конструкций.

Образец	Конструкция		
	С почвой	С компостом	С торфом
начальный (июнь)	1347,8±213,0	83,1±11,5	108,4±5,7
сентябрь	1057,1±67,5	626,5±66,9	78,3±14,5
декабрь	1311,3±35,4	574,7±33,8	567,1±43,1

Результаты мультисубстратного тестирования за 6 месяцев эксперимента показали увеличение разнообразия и интенсивности потребляемых

субстратов (углеводы, спирты, аминокислоты, органические кислоты, полимеры, N-компоненты), что свидетельствует о положительной тенденции развития микробного сообщества конструкций. По ходу эксперимента в конструкциях с торфом и компостом происходит развитие сообщества, связанное с ростом разнообразия и количества микроорганизмов (Рис. 33). Эта гипотеза подтверждается увеличением потребления аминокислот в искусственных почвогрунтах, что вызвано накоплением мертвой биомассы, обогащенной белковыми компонентами. Заметно понижение сахаролитической активности в конструкции с компостом по сравнению с конструкцией с торфом, что может быть связано с переключением системы на преимущественное использование метана.

На основании анализа рангового распределения потребления субстратов микробными сообществами были рассчитаны индексы и показатели функционального разнообразия на разных этапах развития систем. Наиболее информативным является коэффициент d , отражающий стабильность сообщества микроорганизмов. Чем ближе d к 0, тем более устойчивой является система [Горленко, Кожевин, 2005].

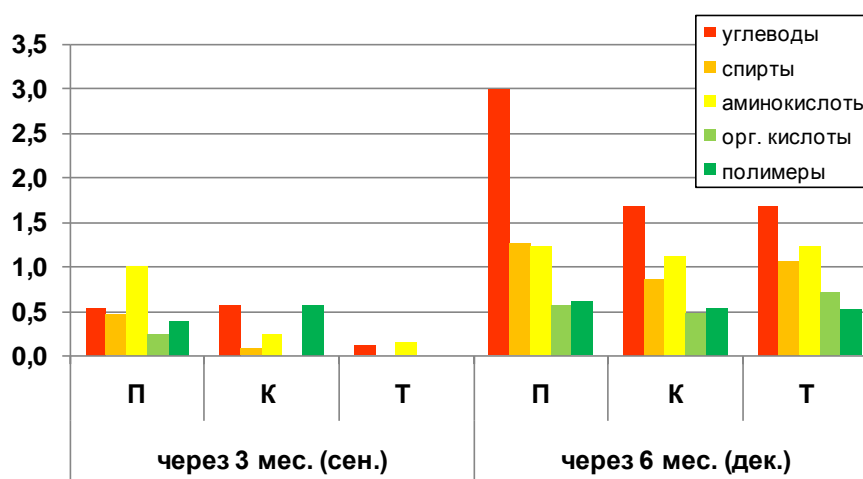


Рис. 33. Потребление номинальных групп субстратов микробными сообществами почвенных конструкций.

Анализ расположения исследуемых образцов в пространстве параметров ранговых распределений (Рис. 34) позволяет сделать заключение о том, что с течением времени происходит существенное изменение микробных

сообществ во всех конструкциях. Сообщества микроорганизмов становятся более стабильными ($d \rightarrow 0$) за счет увеличения биоразнообразия, о чем свидетельствует увеличение числа и интенсивности потребления субстратов. Можно заключить, что за 6 месяцев эксперимента микробное сообщество из неустойчивого и даже подавленного состояния (в случае конструкции с торфом) переходит в стабильное, причем конструкция с торфом по темпам развития опережает конструкцию с компостом.

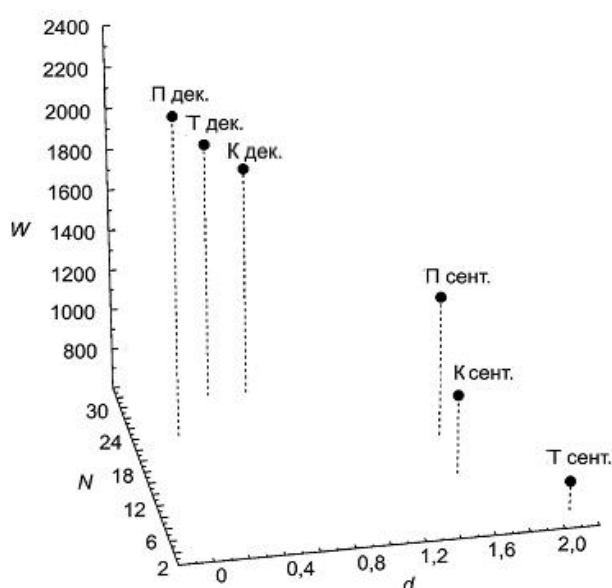


Рис. 34. Положение образцов в пространстве ранговых распределений. d – коэффициент, отражающий стабильность сообщества; N – число потребленных субстратов; W – удельная метаболическая работа.

Таким образом, установлено поглощение метана искусственными почвенными конструкциями в модельных условиях повышенного газопроявления. Скорость поглощения CH_4 варьирует по сезонам, подчиняясь общим закономерностям развития метанотрофов. В теплый период эффективность поглощения метана почвенными конструкциями составляет 90-100%.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны принципы оценки газогеохимического состояния и экологических функций почв на основе анализа причинно-следственных связей процессов образования, поглощения, накопления, эмиссии метана и углекислого газа. Применен пространственный прогноз при оценке общих выбросов парниковых газов на основе анализа ландшафтных связей с помощью ГИС-технологий.
2. Интенсивность выбросов парниковых газов в атмосферу из антропогенных почв и ТПО растет по мере увеличения мощности техногенно-рекрементогенных отложений, нарастании газогенерации и потоков аллохтонного метана из подстилающих грунтов. В антропогенных почвах и ТПО на маломощных техногенных отложениях с развитыми гумусово-аккумулятивными горизонтами выбросы углекислого газа растут от урбаноземов на газонах к рекреаземам ботанических садов, что обусловлено дыханием биоты.
3. В верхних горизонтах рекреаземов ботанических садов и серогумусовых техногенных почв парков образуются биогеохимические аномалии углекислого газа, обусловленные высокой активностью биоты. Выявлена тенденция увеличения активности бактериального окисления метана в зависимости от активности его образования.
4. Почвы и ТПО на среднемощных запечатанных, подтопляемых техногенных грунтах над погребенными свалками отличаются низкими концентрациями углекислого газа и среднеемкими биогеохимическими барьерами аллохтонного метана. Коррелятивные связи между образованием автохтонного метана и активностью бактериального окисления метана отсутствуют. Концентрации метана в газогенерирующем слое очень высокие, углекислого газа - чрезвычайно высокие.
5. В реплантоземах и (органо)литостратах на среднемощных техногенных отложениях засыпанных речных пойм формируется система

биогеохимических барьеров: в рекультивационном горизонте RAT, созданном при воспроизводстве городских почв, и в техногенных грунтах. На первом весьма емком биогеохимическом барьере происходит окисление автохтонного метана и соокисление аллохтонного метана; на втором – окисление аллохтонного метана. Выбросы углекислого газа из реплантоземов в 2-3 раза превышают выбросы из литостратов, сформированных на техногенных грунтах.

6. В зоне аэрации мощных техногенных грунтов формируются биогеохимические барьеры малой и средней емкости, являющиеся сильным источником углекислого газа, накапливающегося в почвах и ТПО и эмитирующего в атмосферу. Концентрации метана в почвах низкие, на глубине 5 м формируются аллохтонные газовые аномалии.
7. Технологии воспроизводства городских почв путем создания рекультивационных горизонтов RAT и применение разработанных искусственных почвенных конструкций снижает эмиссию метана в теплый период. Эмиссия углекислого газа с поверхности конструкций в два раза ниже, чем из рекультивационных горизонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамочкина Ф.Н., Безрукова Л.В., Кошелева А.В. и др. Микробиологическое окисление метана в пресноводных водоемах // Микробиология, 1987. – Т. 56, №3. – С. 464–471.
2. Александров Г.А., Соколов М.А., Степанов А.Л. Сравнительный анализ методов измерения эмиссии газов из почвы в атмосферу // Почвоведение, 1996. – № 10. – С. 1192–1194.
3. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
4. Алехин В.В. Растительность и геоботанические районы Московской и сопредельных областей. – М.: Изд-во МОИП, 1947. – 71 с.
5. Аммосова Я.М., Каспаров С.В., Минько О.И. Анаэробизис и газы в почвах // Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – С. 62–75.
6. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение, 2011. – № 11. – С. 1327–1333.
7. Андроханов В.А., Овсянникова С.В., Курачев В.М. Техноземы: свойства, режимы, функционирование. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 200 с.
8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 487 с.
9. Балакин В.А., Труфманова Е.П. Стихийные свалочные тела на территории города // Экологический атлас Москвы. – М.: Изд-во «АБФ/АВФ», 2000. – С. 79–80.
10. Белобров В.П., Замотаев И.В. Почвогрунты и зеленые газоны спортивных и технических сооружений. – М.: ГЕОС, 2007. – 168 с.
11. Беляев С.С. Геохимическая деятельность метанобразующих бактерий // Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов. – Пущино: ОНТИ Научного центра биол. исследований АН СССР, 1976. – С. 139–151.

12. Букварева Е.Н. Роль наземных экосистем в регуляции климата и место России в посткиотском процессе. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 97 с.
13. Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В. и др. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал, 2005. – № 4. – С. 631–649.
14. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
15. Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Максимова С.В. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов. – Пермь: ПГТУ, 2003. – 231 с.
16. Визирская М.М., Епихина А.С., Васенев В.И. и др. Экологическая оценка роли городских газонов в формировании потоков парниковых газов // Вестник РУДН. Серия Агротомия и животноводство, 2013. – № 5. – С.38-48.
17. Викторова М.А. Грунты несанкционированных строительных отвалов и свалок (на примере территории г. Москвы): автореф. Дис. ... канд.геол.–мин. наук. – М., 2007. – 24 с.
18. Викторова М.А. Состав газового компонента как признак подразделения насыпных грунтов городских территорий // Сергеевские чтения. Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии : материалы годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидрогеологии (20–21 марта 2008 г.). – М.: ГЕОС, 2008. – С. 29–32.
19. Владимиров В.В., Давидянц Г.Н., Расторгуев О.С., Шафран В.Л. Инженерная подготовка и благоустройство городских территорий – М.: Архитектура–С, 2004. – 240 с.
20. Воробьева Л.И. Археи. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 447 с.
21. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 61 с.

22. Гальченко В.Ф. Бактериальный цикл метана в морских экосистемах // Природа, 1995. – № 6. – С. 35-48.
23. Гальченко В.Ф. Метанотрофные бактерии. – М.: ГЕОС, 2001. – 500 с.
24. Гальченко В.Ф., Горлатов С.Н., Токарев В.Г. Микробиологическое окисление метана в осадках Берингова моря // Микробиология, 1986. – Т. 55, № 4. – С. 669-673.
25. Гальченко В.Ф. Леин А.Ю., Иванов М.В. Интенсивности микробного образования и окисления метана в донных осадках и водной толще Черного моря // Микробиология, 2004. – Т. 73, № 2. – С. 271-283.
26. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А. Метан в устьевой области реки Дон. – Ростов–на–Дону – Москва: ЗАО «Росиздат», 2010. – 181 с.
27. Гаязов Р.Р. Лимитирование и ингибирование роста *Methylococcus capsulatus* компонентами минеральной среды и газовой фазы / Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Пушкино, 1992. – 19 с.
28. Гвоздев Р.И., Акентьева Н.П. Современные представления о структуре и функции метанмонооксигеназы // Биохимия и физиология метилотрофов. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1987. – С. 33–50.
29. Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды / отв. ред. Г.Л. Кофф, Э.А. Лихачева, Д.А. Тимофеев. – М.: Медиа–Пресс, 2006. – 200 с.
30. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.
31. Глазовская М.А., Добровольская Н.Г. Геохимические функции микроорганизмов. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 152 с.
32. ГН 2.2.5.2100–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М., 2006.
33. ГН 2.1.6.2309-07. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: Гигиенические нормативы.– М., 2007.

34. Гончарова О.Ю., Телеснина В.М. Биологическая активность постагрогенных почв (на примере Московской области) // Вестник Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение, 2010. – № 4. – С. 24–31.
35. Горленко М.В., Кожевин П.А. Мультисубстратное тестирование природных микробных сообществ. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 88 с.
36. Гурина И.В. Безопасный уровень углекислого газа требует ревизии // Экологический вестник России, 2008. – №10. (<http://www.enontek.ru/publikacii/ehkovestnik-10-2008>).
37. Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 376 с.
38. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю. Инженерная геология и геоэкология подземного пространства Санкт-Петербурга – основные проблемы его основания и использования // Сергеевские чтения. Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии : материалы годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидрогеологии (20–21 марта 2008 г.). – М.: ГЕОС, 2008. – С. 203–208.
39. Дедыш С.Н. Ацидофильные метанотрофные бактерии: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М.: Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, 2005. – 48 с.
40. Дедыш С.Н., Паников Н.С. Влияние концентрации метана на скорость его бактериального окисления в сфагновом торфе // Микробиология, 1997а. – Т. 66, № 4. – С. 563–568.
41. Дедыш С.Н., Паников Н.С. Кинетика окисления метана в сфагновом торфе в зависимости от рН, температуры и концентрации солей // Микробиология, 1997б. – Т. 66, № 4. – С. 569–573.
42. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 136 с.
43. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. – 412 с.

44. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2014 году» / Под ред. А.О. Кульбачевского. – М.: ДПиООС; НИА-Природа, 2015. – 384 с.
45. Еланский Н.Ф. Примеси в атмосфере континентальной России // Природа, 2002. – № 2. – С. 32–43.
46. Забелин И.Е. Кунцево и Древний Сетунский стан // Черты Московской самобытности. – М.: Изд. дом ТОНЧУ, 2007. – С. 95–281.
47. Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. – М.: Наука, 1984. – 194 с.
48. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. – М.: Наука, 2004. – 348 с.
49. Заварзин Г.А., Васильева Л.В. Цикл метана на территории России // Круговорот углерода на территории России. – М., 1999. – С. 202–230.
50. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. – М.: Книжный дом «Университет», 2001. – 256 с.
51. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервар органического углерода на территории России // Вестник РАН, 2006. – Т. 76, № 1. – С. 14–29.
52. Задорожний А.Н., Семенов М.В., Ходжаева А.К., Семенов В.М. Почвенные процессы продукции, потребления и эмиссии парниковых газов // Агрохимия, 2010. – № 10. – С. 75–92.
53. Звягинцев Д.Г. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. – М.: Изд-во Московского Университета, 1973. – 176 с.
54. Звягинцев Д.Г. Газовая фаза почвы и микроорганизмы // Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе. – М.: Наука, 1979. – С. 92–104.
55. Иванников Ф.А. Трансформация почвоподобных техногенных образований в условиях урбозкосистемы (на примере г. Москвы): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2012. – 25 с.
56. Иванников Ф.А., Прокофьева Т.В. Техногенные почвоподобные тела речной долины и их трансформация в условиях города (на примере долины р.

- Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение, 2010. – № 4. – С. 10-15.
57. Иванов Д.В. Биогеохимическое образование и окисление биогаза в техногенных грунтах по данным изотопно-химических исследований: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М., 1998. – 25 с.
58. Иванов Д.В. Роль природного окислительного биофильтра в снижении эмиссии метана в атмосферу с объектов захоронения бытовых и строительных отходов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2009. – № 4. – С. 63–67.
59. Иванов М.В. Микробиологический метод борьбы с метаном в угольных шахтах // Вестник АН СССР, 1988. – № 3. – С. 16–22.
60. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России. / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. – М.: КДУ, 2011. – 672 с.
61. Инструкция по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в г. Москве. – М.: Москомархитектур, 2004. – 103 с.
62. Исаев А.А. О климате Москвы на рубеже XX и XXI век // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей / Под ред. проф. Б.А. Ревича. – М., 2006. – С. 9–41.
63. Каллистова А.Ю., Глаголев М.В., Шнырев Н.А. и др. Эмиссия метана с поверхности полигона захоронения твердых бытовых отходов в зависимости от возраста полигона и от времени года // Экологическая химия, 2006. – Т. 15, № 1. – С. 13–21.
64. Каллистова А.Ю., Кевбрина М.В., Некрасова В.К. и др. Окисление метана в покрывающей почве полигона захоронения твердых бытовых отходов // Микробиология, 2005. – Т. 74, № 5. – С. 699–706.
65. Кароль И.Л., Киселев А.А. Атмосферный метан и глобальный климат // Природа, 2004. – № 7. – С. 47–52.
66. Климат Москвы: [Электронный ресурс]. М., 2004-2017.
<http://www.pogodaiklimat.ru/climate/27612.htm>

67. Климат, погода, экология Москвы / Под ред. Ф.Я. Клинова. – Санкт–Петербург: Гидрометеиздат, 1995. – 435 с.
68. Климатические изменения и энергоэффективность больших городов: перспективы развития нормативной законодательной базы// Материалы Круглого стола (Москва, 16 марта 2010 г.). – М., 2010. (<http://www.muctr.ru/univsubs/ecocentre/files/hand-out.pdf>).
69. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 247 с.
70. Колесников О.М., Паников Н.С. Солевое ингибирование метанотрофной активности в сфагновом торфе // Почвоведение, 2005. – № 4. – С. 475-480.
71. Кондратьева Е.Н. Хемолитотрофы и метилотрофы. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 176 с.
72. Кравченко И.К., Семенов В.М., Кузнецова Т.В. и др. Окисление метана и превращения азота в серой лесной почве // Почвоведение, 2004. - № 1. - С. 60-67.
73. Кравченко И.К., Семенов В.М., Кузнецова Т.В. и др. Физико–химические и биологические факторы, контролирующие окисление атмосферного метана в серых лесных почвах // Микробиология, 2005. – Т. 74, № 2. – С. 255–260.
74. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. – М.: Наука, 2007. – 315 с.
75. Кузяков Я.В., Ларионова А.А. Вклад ризомикробного и корневого дыхания в эмиссию CO₂ из почвы // Почвоведение, 2006. – № 7. – С. 842–854.
76. Кулачкова С.А. Специфика функционирования почвенного покрова при подземном хранении природного газа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2006. – 25 с.
77. Курбатова А.С., Башкин В.Н., Мягков М.С., Савин Д.С. Экологические решения в Московском мегаполисе. – М.: Маджента, 2004. – 574 с.
78. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., 2010. – 50 с.

79. Ларионова А.А., Евдокимов И.В., Курганова И.Н. и др. Дыхание корней и его вклад в эмиссию CO₂ из почвы // Почвоведение, 2003. - № 2. - С. 183-194.
80. Лебедев В.С., Балакин В.А., Иванов Д.В. и др. Применение изотопно-химических методов при геоэкологических исследованиях захороненных органических отходов // Разведка и охрана недр, 2005. – №4. – С. 76–79.
81. Лихачева Э.А. Экологические хроники Москвы. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2007. – 304 с.
82. Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А., Жидков М.П. и др. Город – экосистема. – М.: ИГРАН, 1996. – 336 с.
83. Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А., Локшин Г.П., Просунцова Н.С. Эколого-геоморфологические критерии оценки городской территории // Геоморфология, 1999. – №3. – С. 18–26.
84. Лукашов А.А. Геолого–геоморфологическое строение и морфодинамика Воробьевых гор (г. Москва) // Вестник Моск. ун–та. Серия 5. География, 2008. – № 5. – С. 68–73.
85. Малашенко Ю.Р., Романовская В.А., Троценко Ю.А. Метаноксиляющие микроорганизмы. – М.: Наука, 1978. – 198 с.
86. Меркель А.Ю., Подосокорская О.А., Черных Н.А. Бонч-Осмоловская Е.А. Распространение, разнообразие и численность метаногенных архей в наземных горячих источниках Камчатки и острова Сан–Мигель // Микробиология, 2015. – Т. 84, № 4. – С. 485–492.
87. Методы почвенной микробиологии и биохимии /Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд–во МГУ, 1991. – 304 с.
88. Минько О.И. Планетарная газовая функция почвенного покрова // Почвоведение, 1988. – № 7. – С. 59–75.
89. Могилевский Г.А. Микробиологический метод поисков газовых и нефтяных залежей. – М.: Гостоптехиздат, 1953. – 56 с.
90. Могилевский Г.А., Богданова В.М., Стадник Е.В. и др. Распространение и активность бактерий, окисляющих и образующих горючие газы // Роль

- микроорганизмов в круговороте газов в природе. – М.: Наука, 1979а. – С. 270–281.
91. Могилевский Г.А., Богданова В.М., Зорькин Л.М. и др. Роль углеводородокисляющих бактерий в снижении концентрации метана и тяжелых углеводородов в атмосфере и водоемах // Геомикробиология поиска и разведки нефтяных месторождений. Труды Института биологии. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979б. – Вып. 124. – С. 109–120.
92. Можарова Н.В. Функционирование и формирование почв над подземными хранилищами природного газа: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., 2009.
93. Можарова Н.В., Кулачкова С.А., Карамушко А.А. Роль почвоподобных тел в регулировании потоков метана и углекислого газа из насыпных грунтов // Сборник материалов III Международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв». – М., 2010. – С. 387–391.
94. Москва. Геология и город / Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. – М.: Московские учебники и картолитография, 1997. – 399 с.
95. Наумов А.В. Дыхание почв: составляющие, экологические функции, географические закономерности: автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – Томск, 2004. – 37 с.
96. Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2004 гг. – М.: Росгидромет, 2006. – 139 с.
97. Новиков В.В., Степанов А.Л. Влияние минерального азота на процессы микробной трансформации метана в почвах // Почвоведение, 1999. – № 10. – С. 1255–1258.
98. Новиков В.В., Степанов А.Л., Поздняков А.И., Лебедева Е.В. Сезонная динамика эмиссии CO₂, CH₄, N₂O и NO из торфяных почв поймы р. Яхромы // Почвоведение, 2004. – № 7. – С. 867–874.
99. Ножевникова А.Н. Мусорные залежи – «метановые бомбы» планеты // Природа, 1995. – № 6. – С. 25–34.

100. Ножевникова А.Н., Елютина Н.Ю., Некрасова В.К., Труфманова Е.П. Образование метана микрофлорой полигона твердых бытовых отходов // Микробиология, 1989. – Т. 58, № 5. – С. 859–863.
101. Ножевникова А.Н., Некрасова В.К., Лебедев В.С. Образование и окисление метана микробной популяцией осадков иловых чехов при низких температурах // Микробиология, 1999. – Т. 68, № 2. – С. 267–272.
102. Оборин А.А., Рубинштейн Л.М., Хмурчик В.Т., Чурилова Н.С. Концепция организованности подземной биосферы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 148 с.
103. Огородникова Е.Н., Николаева С.К., Нагорная М.А. Об учете пространственно–временной изменчивости техногенных грунтов при инженерно–геологических и эколого–геологических изысканиях // Сергеевские чтения. Выпуск 12. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии – М.: РУДН, 2010. – С. 276–280.
104. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Изд–во Моск. ун–та, 1985. – 376 с.
105. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2008. – 230 с.
106. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводов в окружающей среде. – М.: Изд–во МГУ, 1993. – 208 с.
107. Поздняков Л.А., Степанов А.Л., Манучарова Н.А. Анаэробное окисление метана в почвах и водных экосистемах // Вестник Моск. ун–та. Серия 17. Почвоведение, 2011. – № 1. – С. 27–34.
108. Попутников В.О. Тренды антропогенной трансформации автоморфных почв территорий городских парков и прилегающих жилых кварталов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2011. – 27 с.
109. Постановление Правительства Москвы от 03.05.2005 № 313–ПП «Об утверждении Московских городских строительных норм «Положение о

- порядке проведения работ по рекультивации несанкционированных свалок в городе Москве». – М., 2005. – 65 с.
110. Почва, город, экология / Под общ. ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. – М.: Фонд «За экологическую грамотность», 1997. – 320 с.
111. Почвы Московской области и их использование. Т. 1. / Отв. ред. Л.Л. Шишов, Н.В. Войтович. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2002. – 500 с.
112. Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. – М.: Колос, 1980. – 272 с.
113. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С. и др. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение, 2014. – № 10. – С. 1155–1164.
114. 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. – С. 611–623.
115. Раппопорт А.В. Антропогенные почвы городских ботанических садов (на примере Москвы и Санкт–Петербурга): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2004. – 25 с.
116. 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. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Биол., 2013. – Т.118, вып. 5. – С. 45-56.
117. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь–справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
118. Розанов Б.Г. Геомембрана: мембранная функция почвы в планетарной геосферной системе Земли // Почвоведение, 1988. – № 7. – С. 54–58.
119. Розанова М.С., Прокофьева Т.В., Лысак Л.В., Рахлеева А.А. Органическое вещество почв Ботанического сада МГУ им. М.В.Ломоносова на Ленинских Горах // Почвоведение, 2016. – № 9. – С. 1079-1092.

120. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК / МГЭИК. – Хаяма, Япония: ИГЕС, 2006.
121. Рысков Я.Г., Мергель С.В., Арлашина Е.А. и др. Эмиссия и сток CO₂ в почвах, содержащих карбонаты // Дыхание почвы. – Пушино, 1993. – С.107-124.
122. Свод правил по проектированию и строительству. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. – М., 2001. – 37 с.
123. Свод правил СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – М., 2012.
124. Семенов М.В., Кравченко И.К., Семенов В.М. и др. Потоки диоксида углерода, метана и закиси азота в почвах катены правобережья р. Ока (Московская область) // Почвоведение, 2010. – № 5. – С. 582–590.
125. Семенюк О.В., Ильяшенко М.А., Бобрик А.А. Оценка экологических функций парковых почв на основе показателей их биологической активности // Проблемы агрохимии и экологии, 2013. – № 3. – с. 35–39.
126. Семихатов Б.Н. Геологические экскурсии в окрестностях Москвы. – М.: Учпедгиз, 1955. – 90 с.
127. Слободкин А.И., Паников Н.С., Заварзин Г.А. Образование и потребление метана микроорганизмами в болотах тундры и средней тайги // Микробиология, 1992. – Т. 61, № 4. – С. 683–691.
128. Смагин А.В. Газовая фаза почв. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 301 с.
129. Смагин А.В. Городские почвы // Природа, 2010. – № 7. – С. 15–23.
130. Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв. – М.: Изд-во МГУ, 2012. – 544 с.
131. Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы). – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 360 с.
132. Солнцева И.Л. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.

133. Соломин И.А. Методы рекультивации погребенных несанкционированных городских свалок // Промышленное и гражданское строительство, 2009а. – № 4. – С. 62–63.
134. Соломин И.А. Погребенные несанкционированные свалки в Москве // Промышленное и гражданское строительство, 2009б. – № 2. – С. 51–52.
135. Соломин И.А. Реабилитация городских загрязненных земель с использованием строительных грунтов // Материалы международной научно–практической конференции «Роль мелиорации водного хозяйства в инновационном развитии АПК». Часть II. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. – С. 244–258.
136. Среднемесячные климатические данные для г. Москвы: [Электронный ресурс] // М.: ФГБУ Гидрометцентр России, 2015.
http://www.meteoinfo.ru/?option=com_content&view=article&id=3001.
137. Старые карты городов России – от древнейших времен до наших дней: [Электронный ресурс]. М., 2009-2016. www.retromap.ru.
138. Степанов А.Л., Манучарова Н.А. Образование и поглощение парниковых газов в почвенных агрегатах. – М.: Изд–во МГУ, 2006. – 82 с.
139. Степанов А.Л., Манучарова Н.А., Смагин А.В. и др. Характеристика биологической активности микробного комплекса городских почв // Почвоведение, 2005. – № 8. – С. 978–983.
140. Стома Г.В., Ахадова Е.В. Характеристика и экологическое состояние почв территории МГУ имени М.В. Ломоносова // Вестник Моск. ун–та. Серия 17. Почвоведение, 2015. – № 1. – С. 35–41.
141. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Роль почв в городских экосистемах // Почвоведение, 1997. – № 1. – С. 96–101.
142. Строганова М.Н., Раппопорт А.В. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов южной тайги // Почвоведение, 2005. – № 9. – С. 1094–1101.
143. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.

144. Терпелец В.И., Слюсарев В.Н. Учебно–методическое пособие по изучению агрофизических и агрохимических методов исследования почв. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 65 с.
145. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др. Грунтоведение. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
146. Троценко Ю.А., Иванова Е.Г., Доронина Н.В. Аэробные метилотрофные бактерии как фитосимбионты // Микробиология, 2001. – Т. 70, № 6. – С. 725–736.
147. Труфманова Е.П., Галицкая М.В. Геологическая оценка территорий бывших свалок (два аспекта) // Геоэкология, 1999. – №5. – С. 480–485.
148. Хегай Т.А., Рачинский В.В., Пельтцер А.С. Сорбция двуокиси углерода почвами // Почвоведение, 1980. – № 1. – С. 62–68.
149. Шеин Е.В. О почвах естественных и почвенных конструкциях // Соросовский образовательный журнал, 2001. – № 9. – С. 63–67.
150. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. и др. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
151. Шустров Ю.Д., Можарова Н.В., Кулачкова С.А. Газогеохимические исследования на строительных объектах Московской области // Информационный вестник Мособлгосэкспертизы, 2008. – № 2.
152. Экологические функции городских почв / Отв. ред. А.С. Курбатова, В.Н. Башкин. –М. – Смоленск: Маджента, 2004. – 232 с.
153. Экологический атлас Москвы. – М.: Изд-во «АБФ/АВФ», 2000. – 96 с.
154. Adamsen A.P.S., King G.M. Methane consumption in temperate and subarctic forest soils: rates, vertical zonation, and responses to water and nitrogen // Applied and environmental Microbiology, 1993. – Vol. 59, № 2. – P. 485–490.
155. Allaire S.E. et al. Carbon dioxide emissions by urban turfgrass areas // Canadian Journal of Soil Science, 2008. – Vol. 88, №. 4. – P. 529-532.
156. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem., 1978. – Vol. 10. – P. 215–221.

157. Angel R., Claus P., Conrad R. Methanogenic archaea are globally ubiquitous in aerated soils and become active under wet anoxic conditions // *The ISME journal*, 2012. – Vol. 6, № 4. – P. 847–862.
158. Avery G.B., Shannon R.D., White J.R. et al. Controls on methane production in a tidal freshwater estuary and a peatland: methane production via acetate fermentation and CO₂ reduction // *Biogeochemistry*, 2003. – Vol. 62, № 1. – P. 19–37.
159. Bédard C., Knowles R. Physiology, biochemistry, and specific inhibitors of CH₄, NH₄⁺, and CO oxidation by methanotrophs and nitrifiers // *Microbiological reviews*, 1989. – Vol. 53, № 1. – P. 68–84.
160. Bender M., Conrad R. Effect of CH₄ concentrations and soil conditions on the induction of CH₄ oxidation activity // *Soil Biology and Biochemistry*, 1995. – Vol. 27, № 12. – P. 1517–1527.
161. Benstead J., King G.M. The effect of soil acidification on atmospheric methane uptake by a Maine forest soil // *FEMS Microbiology Ecology*, 2001. – Vol. 34, № 3. – P. 207–212.
162. Bodrossy L., Holmes E.M., Holmes A.J. et al. Analysis of 16S rRNA and methane monooxygenase gene sequences reveals a novel group of thermotolerant and thermophilic methanotrophs, *Methylocaldum* gen. nov // *Archives of Microbiology*, 1997. – Vol. 168, № 6. – P. 493–503.
163. Boone D.R., Whitman W.B., Rouvière P. Diversity and taxonomy of methanogens // *Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics*. – New York: Springer Science & Business Media, 1993. – P. 35–80.
164. Bousquet P., Ciais P., Miller J.B. et al. Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability // *Nature*, 2006. – Vol. 443, № 7110. – P. 439–443.
165. Bridges E.M., Batjes N.H. Soil gaseous emissions and global climatic change // *Geography*, 1996. – Vol. 81, № 2. – P. 155–169.
166. Byrne L.B. Habitat structure: A fundamental concept and framework for urban soil ecology // *Urban Ecosystems*, 2007. – Vol. 10. – P. 255–274.

167. Chaban B., Ng S.Y.M., Jarrell K.F. Archaeal habitats—from the extreme to the ordinary // *Canadian journal of microbiology*, 2006. – Vol. 52, № 2. – P. 73–116.
168. Cicerone R.J., Oremland R.S. Biogeochemical aspects of atmospheric methane // *Global Biogeochemical Cycles*, 1988. – Vol. 2, № 4. – p. 299–327.
169. *Cities and Climate Change: global report on human settlements / United Nations Human Settlements Programme (UN–Habitat)*. – London, Washington, DC: Earthscan, 2011. – 280 p.
170. Clark D.D., Ensign S.A. Evidence for an inducible nucleotide–dependent acetone carboxylase in *Rhodococcus rhodochrous* B276 // *Journal of bacteriology*, 1999. – Vol. 181, № 9. – P. 2752–2758.
171. Conrad R. Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen concentrations in methanogenic soils and sediments // *FEMS Microbiology Ecology*, 1999. – Vol. 28, № 3. – P. 193–202.
172. Conrad R. Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H_2 , CO , CH_4 , OCS , N_2O and NO) // *Microbiological reviews*, 1996. – Vol. 60, № 4. – P. 609–640.
173. Decina S.M., Hutyra L.R., Gately C.K. et al. Soil respiration contributes substantially to urban carbon fluxes in the greater Boston area // *Environmental Pollution*, 2016. – Vol. 212. – P. 433–439.
174. Del Grosso S.J., Parton W.J., Mosier A.R. et al. General CH_4 oxidation model and comparisons of CH_4 oxidation in natural and managed systems // *Global Biogeochemical Cycles*, 2000. – Vol. 14, № 4. – P. 999–1019.
175. Demény A., Haszpra L. Stable isotope compositions of CO_2 in background air and at polluted sites in Hungary // *Rapid communications in mass spectrometry*, 2002. – Vol. 16, № 8. – P. 797–804.
176. Dlugokencky E.J., Nisbet E.G., Fisher R. et al. Global atmospheric methane: budget, changes and dangers // *Phil. Trans. R. Soc. A*, 2011. – Vol. 369. – P. 2058–2072.

177. Dubey S.K. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: A review // *Applied ecology and environmental research*, 2005. - Vol. 3, № 2. - P. 1-27.
178. Dunfield P., Knowles R., Dumont R. et al. Methane production and consumption in temperate and Sub-Arctic peat soils – response to temperature and pH // *Soil Biol. Biochem.*, 1993. – Vol. 25, № 7. – P. 321–326.
179. Einola J.-K.M. Biotic oxidation of methane in landfills in boreal climatic conditions. – Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2010. – 101 p.
180. Eller G., Känel L., Krüger M. Cooccurrence of aerobic and anaerobic methane oxidation in the water column of Lake Plußsee // *Applied and Environmental Microbiology*, 2005. – Vol. 71, № 12. – P. 8925–8928.
181. Ensign S.A., Small F.J., Allen J.R. et al. New roles for CO₂ in the microbial metabolism of aliphatic epoxides and ketones // *Archives of microbiology*, 1998. – Vol. 169, № 3. – P. 179–187.
182. Falkowski P., Scholes R.J., Boyle E.E.A. et al. The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system // *Science*, 2000. – Vol. 290, № 5490. – P. 291–296.
183. Fetzer S., Bak F., Conrad R. Sensitivity of methanogenic bacteria from paddy soil to oxygen and desiccation // *FEMS Microbiology Ecology*, 1993. – Vol. 12, № 2. – P. 107–115.
184. Field Ch.B., Raupach M.R. The global carbon cycle: integrating humans, climate and the natural world. SCOPE 62. – Washington: IslandPress, 2003. – 525 p.
185. Folberth G.A., Butler T.M., Collins W.J. et al. Megacities and climate change: A brief overview // *Environmental Pollution*, 2015. – Vol. 203. – P. 235–242.
186. Forster P., Ramaswami V. et al. Changes in atmospheric constituents and radiative forcing // IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. - Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – p. 129-234.

187. Garcia J.-L. Taxonomy and ecology of methanogens // FEMS Microbiology Letters, 1990. – Vol. 87, № 3-4. – P. 297–308.
188. Gebert J., Groengroeft A., Miehlich G. Kinetics of microbial landfill methane oxidation in biofilters//Waste Management, 2003. - Vol. 23, № 7. - P. 609-619.
189. Gerardi M.H. The microbiology of anaerobic digesters. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.
190. Górka M., Lewicka–Szczebak D. One–year spatial and temporal monitoring of concentration and carbon isotopic composition of atmospheric CO₂ in a Wrocław (SW Poland) city area // Applied Geochemistry, 2013. – Vol. 35. – P. 7-13.
191. Górka M., Sauer P.E., Lewicka–Szczebak D. et al. Carbon isotope signature of dissolved inorganic carbon (DIC) in precipitation and atmospheric CO₂ // Environmental pollution, 2011. – Vol. 159, № 1. – P. 294-301.
192. Govind R. Biofiltration: An innovative technology for the future //University of Cincinnati. – 2009.
193. Gregg J.S., Losey L.M., Andres R.J. et al. The temporal and spatial distribution of carbon dioxide emissions from fossil–fuel use in North America // Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2009. – Vol. 48, № 12. – P. 2528–2542.
194. Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E. et al. Global change and the ecology of cities // Science, 2008. – Vol. 319. – P. 756–760.
195. Grossman E.L., Cifuentes L.A., Cozzarelli I.M. Anaerobic methane oxidation in a landfill–leachate plume // Environmental science & technology, 2002. – Vol. 36, № 11. – P. 2436–2442.
196. Hanson P.J., Edwards N.T., Garten C.T. et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations // Biogeochemistry, 2000. – Vol. 48, № 1. – P. 115–146.
197. Hanson R.S., Hanson T.E. Methanotrophic bacteria // Microbiological reviews, 1996. – Vol. 60, № 2. – P. 439–471.
198. Harder J. Anaerobic methane oxidation by bacteria employing 14C–methane uncontaminated with 14C-carbon monoxide // Marine geology, 1997. – Vol. 137, № 1. – P. 13-23.

199. Hartman R.E., Keen N.T., Long M. Carbon dioxide fixation by *Verticillium albo-atrum* // *Microbiology*, 1972. – Vol. 73, № 1. – P. 29–34.
200. Higgins I.J., Best D.J., Hammond R.C. et al. Methane-oxidizing microorganisms // *Microbiological Reviews*, 1981. - Vol. 45, № 4. - P. 556-590.
201. Ho A., Frenzel P. Heat stress and methane-oxidizing bacteria: effects on activity and population dynamics // *Soil Biology and Biochemistry*, 2012. – Vol. 50. – P. 22–25.
202. Holmes A.J., Roslev P., McDonald I.R. et al. Characterization of methanotrophic bacterial populations in soils showing atmospheric methane uptake // *Applied and Environmental Microbiology*, 1999. – Vol. 65, № 8. – P. 3312-3318.
203. Horz H.-P., Raghubanshi A.S., Heyer J. et al. Activity and community structure of methane-oxidising bacteria in a wet meadow soil // *FEMS microbiology ecology*, 2002. – Vol. 41, № 3. – p. 247–257.
204. Humer M., Lechner P. Microorganisms against the greenhouse effect—suitable cover layers for the elimination of methane emissions from landfills // *Proceedings from the Solid Waste Association of North America™(SWANA). 6th Annual Landfill Symposium. Publication GR–LM–0006 – San Diego, California, 2001. – P. 305–318.*
205. Huttyra L.R., Duren R., Gurney K.R. et al. Urbanization and the carbon cycle: Current capabilities and research outlook from the natural sciences perspective // *Earth's Future*, 2014. – Vol. 2, № 10. – P. 473–495.
206. IPCC, 2013. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner et al. – Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Press C.U., 2013. – 1535 p.*
207. Islam T., Jensen S., Reigstad L.J. et al. Methane oxidation at 55°C and pH 2 by a thermoacidophilic bacterium belonging to the *Verrucomicrobia* phylum // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008. – Vol. 105, № 1. – P. 300-304.

208. Jäckel U., Schnell S., Conrad R. Effect of moisture, texture and aggregate size of paddy soil on production and consumption of CH₄ // *Soil Biology and Biochemistry*, 2001. – Vol. 33, № 7. – P. 965-971.
209. Jäckel U., Thummes K., Kämpfer P. Thermophilic methane production and oxidation in compost // *FEMS Microbiology Ecology*, 2005. – Vol. 52, №. 2. – P. 175-184.
210. Jones H.A., Nedwell D.B. Methane emission and methane oxidation in land-fill cover soil // *FEMS Microbiology Ecology*, 1993. – Vol. 102. – P. 185-195.
211. Kähkönen M.A., Wittmann C., Ilvesniemi H. et al. Mineralization of detritus and oxidation of methane in acid boreal coniferous forest soils: seasonal and vertical distribution and effects of clear-cut // *Soil Biology and Biochemistry*, 2002. – Vol. 34, № 8. – P. 1191–1200.
212. Kajikawa H., Valdes C., Hillman K. et al. Methane oxidation and its coupled electron-sink reactions in ruminal fluid // *Letters in applied microbiology*, 2003. – Vol. 36, № 6. – P. 354–357.
213. Kennedy C., Steinberger J., Gasson B. et al. Greenhouse gas emissions from global cities // *Environmental science & technology*, 2009. – Vol. 43, № 19. – P. 7297–7302.
214. Kennedy C., Steinberger J., Gasson B. et al. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities // *Energy Policy*, 2010. – Vol. 38, № 9. – P. 4828–4837.
215. Kiener A., Leisinger T. Oxygen sensitivity of methanogenic bacteria // *Systematic and Applied Microbiology*, 1983. – Vol. 4, № 3. – P. 305–312.
216. King G.M. Ecological aspects of methane oxidation, a key determinant of global methane dynamics // *Advances in Microbial Ecology*. – New York: Plenum Press, 1992. – P. 431–468.
217. Koerner B., Klopatek J. Anthropogenic and natural CO₂ emission sources in an arid urban environment // *Environmental Pollution*, 2002. - Vol. 116. - P. S45-S51.
218. Kotsyurbenko O.R., Chin K.J., Glagolev M.V. et al. Acetoclastic and hydrogenotrophic methane production and methanogenic populations in an acidic

- West-Siberian peat bog // *Environmental microbiology*, 2004. – Vol. 6, № 11. – P. 1159–1173.
219. Kotsyurbenko O.R., Friedrich M.W., Simankova M.V. et al. Shift from acetoclastic to H₂-dependent methanogenesis in a West Siberian peat bog at low pH values and isolation of an acidophilic *Methanobacterium* strain // *Applied and environmental microbiology*, 2007. – Vol. 73, № 7. – P. 2344-2348.
220. Kotsyurbenko O.R., Nozhevnikova A.N., Soloviova T.J. et al. Methanogenesis at low temperatures by microflora of tundra wetland soil // *Antonie van Leeuwenhoek*, 1996. – Vol. 69. – P. 75–86.
221. Kotsyurbenko O.R., Nozhevnikova A.N., Zavarzin G.A. Methanogenic degradation of organic matter by anaerobic bacteria at low temperature // *Chemosphere*, 1993. – Vol. 27, № 9. – P. 1745–1761.
222. Kuc T., Rozanski K., Zimnoch M. et al. Anthropogenic emissions of CO₂ and CH₄ in an urban environment // *Applied Energy*, 2003. – Vol. 75. – P. 193-203.
223. Kuzyakov Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods // *Soil Biology and Biochemistry*, 2006. – Vol. 38. – P. 425–448.
224. Le Mer J., Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review // *European Journal of Soil Biology*, 2001. – Vol. 37, № 1. – P. 25–50.
225. Liu Y., Whitman W.B. Metabolic, phylogenetic, and ecological diversity of the methanogenic archaea // *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2008. – Vol. 1125, № 1. – P. 171–189.
226. Lorenz K., Lal R. Biogeochemical C and N cycles in urban soils // *Environment International*, 2009. – Vol. 35. – P. 1–8.
227. Lowe D.C. Global change: a green source of surprise // *Nature*, 2006. – Vol. 439, № 7073. – P. 148–149.
228. Ma K., Lu Y. Regulation of microbial methane production and oxidation by intermittent drainage in rice field soil // *FEMS microbiology ecology*, 2011. – Vol. 75, № 3. – P. 446–456.

229. Marland G. Uncertainties in accounting for CO₂ from fossil fuels // *Journal of Industrial Ecology*, 2008. – Vol. 12, № 2. – P. 136–139.
230. Masscheleyn P.H., DeLaune R.D., Patrick W.H. Methane and nitrous oxide emissions from laboratory measurements of rice soil suspension: effect of soil oxidation–reduction status // *Chemosphere*, 1993. – Vol. 26, № 1. – P. 251–260.
231. McDonald I.R., Kenna E.M., Murrell J.C. Detection of methanotrophic bacteria in environmental samples with the PCR // *Applied and Environmental Microbiology*, 1995. – Vol. 61, № 1. – P. 116–121.
232. McRae J.E., Graedel T.E. Carbon dioxide in the urban atmosphere: Dependencies and trends // *Journal of Geophysical Research*, 1979. – Vol. 84, № C8. – P. 5011–5017.
233. Miller J.B., Lehman S.J., Montzka S.A. et al. Linking emissions of fossil fuel CO₂ and other anthropogenic trace gases using atmospheric ¹⁴CO₂ // *Journal of Geophysical Research*, 2012. – Vol. 117, № D08302.
234. Miltner A., Kopinke F.–D., Kindler R. et al. Non–phototrophic CO₂ fixation by soil microorganisms // *Plant and Soil*, 2005. – Vol. 269, № 1–2. – P. 193–203.
235. Mor S., De Visscher A., Ravindra K. et al. Induction of enhanced methane oxidation in compost: Temperature and moisture response // *Waste Management*, 2006. – Vol. 26, № 4. – P. 381–388.
236. Moran J.J., House C.H., Freeman K.H. et al. Trace methane oxidation studied in several Euryarchaeota under diverse conditions // *Archaea*, 2005. – Vol. 1, № 5. – P. 303–309.
237. Murase J., Kimura M. Methane production and its fate in paddy fields: VI. Anaerobic oxidation of methane in plow layer soil // *Soil science and plant nutrition*, 1994. – Vol. 40, № 3. – P. 505–514.
238. Nazaries L., Murrell J.C., Millard P. et al. Methane, microbes and models: fundamental understanding of the soil methane cycle for future predictions // *Environmental microbiology*, 2013. – Vol. 15, № 9. – P. 2395–2417.

239. Nikiema J., Brzezinski R., Heitz M. Elimination of methane generated from landfills by biofiltration: a review // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2007. – Vol. 6, № 4. – P. 261-284.
240. Nikiema J., Heitz M. The use of inorganic packing materials during methane biofiltration // *International Journal of Chemical Engineering*, 2010. – Vol. 2010. – P. 1-8.
241. Omelchenko M.V., Vasilyeva L.V., Zavarzin G.A. Psychrophilic methanotroph from tundra soil // *Current Microbiology*, 1993. – Vol. 27, № 5. – P. 255–259.
242. Pataki D.E., Bowling D.R., Ehleringer J.R. Seasonal cycle of carbon dioxide and its isotopic composition in an urban atmosphere: Anthropogenic and biogenic effects // *Journal of Geophysical Research*, 2003. – Vol. 108, № D23.
243. Perez R.C., Matin A. Carbon dioxide assimilation by *Thiobacillus novellus* under nutrient-limited mixotrophic conditions // *Journal of bacteriology*, 1982. – Vol. 150, № 1. – P. 46-51.
244. Peters V., Conrad R. Methanogenic and other strictly anaerobic bacteria in desert soil and other oxic soils // *Applied and environmental microbiology*, 1995. – Vol. 61, № 4. – P. 1673–1676.
245. Phillips N.G., Ackley R., Crosson E.R. et al. Mapping urban pipeline leaks: Methane leaks across Boston//*Environmental Pollution*, 2013. - Vol. 173. - P. 1-4.
246. Poplawski A.B., Mårtensson L., Wartiainen I. et al. Archaeal diversity and community structure in a Swedish barley field: specificity of the EK510R/(EURY498) 16S rDNA primer // *Journal of microbiological methods*, 2007. – Vol. 69, № 1. – P. 161–173.
247. Radl V., Gattinger A., Chroňáková A. et al. Effects of cattle husbandry on abundance and activity of methanogenic archaea in upland soils // *The ISME journal*, 2007. – Vol. 1, № 5. – P. 443–452.
248. Robertson D.S. The rise in the atmospheric concentration of carbon dioxide and the effects on human health. // *Medical Hypotheses*, 2001. – Vol. 56, №4. – p. 513–518.

249. Robertson D.S. Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere // *Current science*, 2006. – Vol. 90, № 12. – P. 1607–1609.
250. Šantrůčková H., Bird M.I., Elhottova D. et al. Heterotrophic fixation of CO₂ in soil // *Microbial ecology*, 2005. – Vol. 49, № 2. – P. 218–225.
251. Satterthwaite D. Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions // *Environment & Urbanization*, 2008. – Vol. 20, № 2. – P. 539–549.
252. Scheutz C., Bogner J., De Visscher A. et al. Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions // *Waste Management & Research*, 2009. – Vol. 27. – P. 409–455.
253. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and the global carbon cycle // *Biogeochemistry*, 2003. – Vol. 48, № 1. – P. 7–20.
254. Serrano-Silva N., Sarria-Guzmán Y., Dendooven L. et al. Methanogenesis and methanotrophy in soil: A review//*Pedosphere*, 2014. - Vol. 24, № 3. - P. 291-307.
255. Shimmel S.M. Dark fixation of carbon dioxide in an agricultural soil // *Soil science*, 1987. – Vol. 144, № 1. – P. 20–23.
256. Six J., Frey S.D., Thiet R.K. et al. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2006. – Vol. 70, № 2. – P. 555–569.
257. Smemo K.A., Yavitt J.B. Evidence for anaerobic CH₄ oxidation in freshwater peatlands // *Geomicrobiology Journal*, 2007. – Vol. 24, № 7–8. – P. 583–597.
258. Smith K.A. A model of the extent of anaerobic zones in aggregated soils, and its potential application to estimates of denitrification // *Journal of Soil Science*, 1980. – Vol. 31, № 2. – P. 263–277.
259. Suess H.E. Radiocarbon concentration in modern wood // *Science*, 1955. – Vol. 122, № 3166. – P. 415–417.
260. Takahashi H.A., Hiyama T., Konohira E. et al. Balance and behavior of carbon dioxide at an urban forest inferred from the isotopic and meteorological approaches // *Radiocarbon*, 2001. – Vol. 43, № 2B. – P. 659–669.

261. Takahashi H.A., Konohira E., Hiyama T. et al. Diurnal variation of CO₂ concentration, $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in an urban forest: estimate of the anthropogenic and biogenic CO₂ contributions // *Tellus*, 2002. – Vol. 54B. – P. 97-109.
262. Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G. et al. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // *Global biogeochemical cycles*, 2009. – Vol. 23, № 2.
263. Teh Y.A., Silver W.L., Conrad M.E. Oxygen effects on methane production and oxidation in humid tropical forest soils // *Global Change Biology*, 2005. – Vol. 11, № 8. – P. 1283–1297.
264. Thauer R.K. Anaerobic oxidation of methane with sulfate: on the reversibility of the reactions that are catalyzed by enzymes also involved in methanogenesis from CO₂ // *Current opinion in microbiology*, 2011. – Vol. 14, № 3. – P. 292–299.
265. Thauer R.K., Kaster A.-K., Seedorf H. et al. Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation // *Nature Reviews Microbiology*, 2008. – Vol. 6, № 8. – P. 579–591.
266. Thauer R.K., Shima S. Methane as fuel for anaerobic microorganisms // *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2008. – Vol. 1125, № 1. – P. 158–170.
267. Topp E., Pattey E. Soils as sources and sinks for atmospheric methane // *Canadian Journal of Soil Science*, 1997. – Vol. 77, № 2. – P. 167–178.
268. Tratalos J., Fuller R.A., Warren P.H. et al. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services//*Landscape and urban planning*, 2007. - Vol. 83. - P. 308-317.
269. Tsubota J., Eshinimaev B., Khmelenina V.N. et al. *Methylothermus thermalis* gen. nov., sp. nov., a novel moderately thermophilic obligate methanotroph from a hot spring in Japan // *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 2005. – Vol. 55, № 5. – P. 1877–1884.
270. Ueki A., Ono K., Tsuchiya A. et al. Survival of methanogens in air-dried paddy field soil and their heat tolerance // *Water Science and Technology*, 1997. – Vol. 36, № 6–7. – P. 517–522.

271. Using biofilters to reduce the greenhouse impact of small to medium sized landfills: Report by Department of Environment and Climate Change NSW. – Sydney, 2007. – 4 c.
272. Venugopal S., Chandrakanthi M., Hettiaratchi J.P.A. Fieldscale application of methanotrophic biofilters (MBFs) in treating low-volume methane (CH₄) emissions from oil and gas Industry // Third International Methane & Nitrous Oxide Mitigation Conference. – Beijing, China, 2003. – P. 854–861.
273. Wagner D., Pfeiffer E.M. Two temperature optima of methane production in a typical soil of the Elbe river marsland // FEMS Microbial Ecol., 1997. – Vol. 22. – P. 144–153.
274. Wang Z.P., Delaune R.D., Patrick W.H. et al. Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil // Soil Science Society of America Journal, 1993. – Vol. 57, № 2. – P. 382–385.
275. Wendlandt K.D., Stottmeister U., Helm J. et al. The potential of methane-oxidizing bacteria for applications in environmental biotechnology // Engineering in Life Sciences, 2010. – Vol. 10, № 2. – P. 87–102.
276. Werner C., Zheng X., Tang J. et al. N₂O, CH₄ and CO₂ emissions from seasonal tropical rainforests and a rubber plantation in Southwest China // Plant and Soil, 2006. – Vol. 289, № 1–2. – P. 335–353.
277. West A.E., Schmidt S.K. Endogenous methanogenesis stimulates oxidation of atmospheric CH₄ in alpine tundra soil // Microbial ecology, 2002. – Vol. 43. – № 4. – P. 408–415.
278. Whalen S.C., Reeburgh W.S. Consumption of atmospheric methane by tundra soils // Nature, 1990. – Vol. 346, № 6280. – P. 160–162.
279. Whalen S.C., Reeburgh W.S., Barber V.A. Oxidation of methane in boreal forest soils: a comparison of seven measures // Biogeochemistry, 1992. – Vol. 16, № 3. – P. 181–211.
280. Whalen S.C., Reeburgh W.S., Sandbeck K.A. Rapid methane oxidation in a landfill cover soil // Applied and environmental microbiology, 1990. – Vol. 56, № 11. – P. 3405–3411.

281. Wilshusen J. H. et al. Methane oxidation and formation of EPS in compost: effect of oxygen concentration // *Environmental Pollution*, 2004. – Vol. 129, № 2. – P. 305-314.
282. Yagi K., Minami K. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields // *Soil Science and Plant Nutrition*, 1990. – Vol. 36, № 4. – P. 599–610.
283. Zehnder A.J.B., Brock T.D. Anaerobic methane oxidation: occurrence and ecology // *Applied and Environmental Microbiology*, 1980. – Vol. 39, № 1. – P. 194-204.
284. Zimnoch M., Godłowska J., Necki J.M. et al. Assessing surface fluxes of CO₂ and CH₄ in urban environment: a reconnaissance study in Krakow, Southern Poland // *Tellus*, 2010. – Vol. 62B. – P. 573–580.
285. Zinder S.H. Physiological ecology of methanogens // *Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics*. – New York: Springer Science & Business Media, 1993. – P. 128–206.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I. Описание почвенных разрезов

Участок I

Разрез № МГУ-0-13

Привязка: старый газон на бульваре на ул. Косыгина, N 55°42,791', E 037°32,239'

Геоморфология: полого-увалистая моренная равнина

Растительность: посадки липы сердцевидной; клевер луговой, мятлик луговой, подорожник большой, одуванчик лекарственный

Название почвы: урбанозем маломощный среднесуглинистый на техногенных отложениях, подстилаемых покровными суглинками

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>U</i>	$\frac{0-20}{20}$	Свежий; коричневато-серый; средний суглинок; мелко-комковато-порошистая структура; обильные корни в верхней части; включения камней разного размера, битого кирпича; граница неровная, переход заметный
<i>TCH</i>	$\frac{20-57}{37}$	Свежий; серовато-желтый, средний суглинок, структура комковато-глыбистая, включения битого кирпича, камней,

Разрез № МГУ-1-13

Привязка: парковая зона, окраина «Большого газона» со стороны ул. Косыгина, N 55°42,782', E 037°32,180'

Геоморфология: полого-увалистая моренная равнина

Растительность: клен платановидный, дуб черешчатый, липа сердцевидная; проростки клена, одуванчик лекарственный, гравилат городской, бересклет бородавчатый

Название почвы: урбанозем легкосуглинистый на техногенных отложениях, подстилаемых покровными суглинками

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>U</i>	$\frac{0-60}{60}$	Свежий; серо-коричневый; легкий суглинок; порошисто-комковатая структура, в нижней части с признаками горизонтальной делимости; в верхней части много корней; включения камней, битого кирпича, граница ровная, переход постепенный
<i>TCH</i>	$\frac{60-75}{15}$	Свежий; буровато-коричневый; средний суглинок; структура комковато-глыбистая; включения стекла, обломков кирпича

Разрез № МГУ-3-13

Привязка: парковая зона, «Большой газон», лесопарк, N 55°42,707', E 037°32,057'

Геоморфология: полого-увалистая моренная равнина

Растительность: липа сердцевидная; подлесок – бересклет бородавчатый, жимолость лесная, рябина обыкновенная, клен платановидный; травянистый ярус – гравилат городской, сныть обыкновенная, крапива двудомная, проростки рябины, клена

Название почвы: серогумусовая техногенная глинисто-иллювирированная сильногумусированная средне-тяжелосуглинистая на техногенных отложениях, подстилаемых покровными суглинками

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>Ad</i>	$\frac{0-5}{5}$	Влажноватый; темно-серый; легкий суглинок; зернистая структура; обильные корни; рыхлый; граница волнистая; переход заметный по количеству корней
<i>A_{Yur}</i>	$\frac{5-14}{9}$	Влажноватый; темно-серый; средний суглинок; структура комковатая; много корней; бусы по корням; переход ясный; граница неровная
<i>TCH_h</i>	$\frac{14-40}{26}$	Свежий; окраска неоднородная: на серовато-буром фоне более темные пятна; тяжелый суглинок; структура мелко-глыбистая; редкие корни; кутаны; червороины; переход заметный; граница неровная
<i>TCH</i>	$\frac{40-67}{27}$	Свежий; окраска неоднородная: на палево-буром фоне серовато-бурые затеки, черные и мелкие охристые пятна; тяжелый суглинок; структура острогранно-плитчатая; единичные корни; червороины

Разрез № МГУ-9-13

Привязка: территория МГУ им. Ломоносова, зеленая зона между Ломоносовским пр. и Биолого-почвенным корпусом, N 55°42,221', E 037°31,184'

Геоморфология: полого-увалистая моренная равнина

Растительность: дуб черешчатый, клен платановидный, клен американский; купырь лесной, яснотка белая, герань лесная, проростки клена, дуба, липы

Название почвы: серогумусовая техногенная среднегумусированная среднесуглинистая на техногенных отложениях, подстилаемых покровными суглинками

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>A_{Yur}</i>	$\frac{0-11}{11}$	Влажноватый; темно-серый; средний суглинок; зернисто-комковатая структура; обильные корни; мезофауна; граница волнистая; переход ясный
<i>TCH1</i>	$\frac{11-21}{10}$	Влажноватый; окраска неоднородная: на буровато-сером фоне темно-серые, белесые и рыжие пятна; средний суглинок; структура острогранно-глыбистая; в подошве ~1 см прослой черного угля и неразложившихся растительных остатков; редкие корни; мелкие (d до 1 см) и крупные камни; включения битого стекла в черном прослое; переход ясный; граница ровная
<i>TCH2</i>	$\frac{21-50}{29}$	Влажноватый; окраска неоднородная: на охристо-буром фоне мелкие светло- и темно-серые, желтовато-палевые и белесые пятна; супесь; бесструктурный; редкие корни; включения мелких камней
<i>TCH3</i>	$\frac{50-58}{8}$	Влажноватый; красновато-рыжий; песок; бесструктурный; включения мелких камней

Разрез № МГУ-12-13

Привязка: Ботанический сад МГУ, дендрарий, участок «Деревья Переходной и Средней Азии», скошенный газон, N 55°42,525', E 037°31,670'

Геоморфология: полого-увалистая моренная равнина

Растительность: злаки, посадки можжевельника

Название почвы: рекреазем маломощный среднесуглинистый на техногенных отложениях, подстилаемых покровными суглинками

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>RAT1</i>	$\frac{0-13}{13}$	Влажный; окраска неоднородная: на коричневатом-сером фоне черные и палевые пятна; средний суглинок; комковатая структура; обильные корни; бусы по корням; слаборазложившиеся органические остатки, редкие камни; включения угля, слюды; граница ровная; переход постепенный
<i>RAT2</i>	$\frac{13-18}{5}$	Влажный; буровато-серый; средний суглинок; комковатая структура с признаками горизонтальной делимости; обильные корни; бусы по корням; включения мелких камней; граница неровная; переход заметный
<i>TCH</i>	$\frac{15-34}{19}$	Влажный; окраска неоднородная: на серовато-буром фоне черные и серые пятна; опесчаненный легкий суглинок; структура плитчато-глыбистая; включения камней, битого кирпича, угля, стекла, арматуры

Участок II

Разрез № Ярц-1-11

Привязка: ул. Ярцевская, площадка строительства торгового центра, в котловане глубиной около 2 м, N 55°44,299', E 037°24,546'

Геоморфология: засыпанная пойма р. Фильки

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH</i>	$\frac{0-60}{60}$	Влажноватый, окраска неоднородная: серовато-бурый с черными пятнами, легкий суглинок, комковато-глыбистая структура, включения камней, арматуры, кирпича, древесины

Разрез № Ярц-2-11

Привязка: ул. Ярцевская, площадка строительства торгового центра, разрытый участок, N 55°44,316', E 37°24,571'

Геоморфология: засыпанная пойма р. Фильки

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат глубоко глеевый супесчано-глинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH1</i>	$\frac{0-50}{50}$	Влажноватый, темно-бурый, супесь, структура комковато-глыбистая, переход заметный, граница ровная
<i>TCH2g</i>	$\frac{50-68}{68}$	Плотная сизая глина, сочится вода

Разрез № Яри-3-11

Привязка: ул. Ярцевская, площадка строительства торгового центра, в котловане глубиной около 2 м, N 55°44,277', E 037°24,596'

Геоморфология: засыпанная пойма р. Фильки

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH1</i>	$\frac{0-10}{10}$	Свежий, красновато-бурый песок, бесструктурный, переход ясный, граница ровная
<i>TCH2g</i>	$\frac{10-55}{45}$	Свежий, окраска неоднородная: на темно-буром фоне сизоватые пятна и темные прослой, супесь, структура плитчато-глыбистая, включения битого кирпича, древесины, камней, проволоки

Разрез № Яри-7-11

Привязка: ул. Ярцевская, площадка строительства торгового центра, старый газон, N 55°44,318', E 037°24,612'

Геоморфология: засыпанная пойма р. Фильки

Растительность: одуванчик лекарственный, подорожник большой, злаки

Название почвы (ТПО): реплантозем легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>RAT</i>	$\frac{0-8}{8}$	Свежий, темно-серый, легкий суглинок, структура мелкокомковатая, включения мелких камней, переход ясный, граница ровная
<i>TCH</i>	$\frac{8-50}{42}$	Свежий, серовато-бурый, супесь, структура порошисто-глыбистая, включения камней, бытового мусора (полиэтилен, батарейки)

Разрез № Яри-10-11

Привязка: ул. Ярцевская, площадка строительства торгового центра, разрытый участок, N 55°44,358', E 37°24,680'

Геоморфология: засыпанная пойма р. Фильки

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат глееватый песчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCHg</i>	$\frac{0-45}{45}$	Свежий, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне черные и сизые пятна, песок, бесструктурный, включения камней и асфальтовой крошки

Разрез № Яри-11-11

Привязка: ул. Ярцевская, площадка строительства торгового центра, разрытый участок, N 55°44,348', E 37°24,704'

Геоморфология: засыпанная пойма р. Фильки

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCHg</i>	$\frac{0-50}{50}$	Свежий, окраска неоднородная: на темно-буром фоне рыжие и серовато-сизые прослой и темно-серые пятна, супесь, сизые прослой – суглинок, структура мелкоглыбистая, включения битого кирпича и обломков асфальта

Разрез № Яри-12-11

Привязка: ул. Ярцевская, площадка строительства торгового центра, разрытый участок, N 55°44,334', E 37°24,733'

Геоморфология: засыпанная пойма р. Фильки

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН_g</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буrom фоне красноватые, темно-серые и сизые пятна, супесь, структура комковато-глыбистая, включения мелких камней

Участок III

Разрез № Сн-101-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, на дне котлована глубиной около 5 м, N 55°42,983', E 037°30,377'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: отсутствует

Название почвы: литострат глееватый песчано-легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН1</i>	$\frac{0-42}{42}$	Свежий, окраска неоднородная: серовато-бурым с рыжими пятнами, супесь, структура мелко-глыбистая, включения камней (d~2-3 см), переход резкий по цвету, граница ровная
<i>ТСН2_g</i>	$\frac{42-70}{28}$	Влажноватый, темно-серый с черными пятнами, легкий суглинок, структура мелко-глыбистая, плотный, включения мелких камней

Разрез № Сн-102-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, на старом заросшем газоне, N 55°43,012', E 037°30,402'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: ежа сборная, одуванчик лекарственный, клевер луговой

Название почвы: урбанозем маломощный легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>U</i>	$\frac{0-9}{9}$	Свежий, буровато-серый, легкий суглинок, структура мелко-глыбисто-комковатая, много корней, бусы по корням растений, включения мелких камней и осколков кирпича, переход заметный по цвету и структуре, граница слабоволнистая
<i>ТСН</i>	$\frac{9-35}{26}$	Свежий, влажнее предыдущего, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне охристые, белесые и черные пятна, тяжелый суглинок, структура мелко-глыбистая, плотный, редкие корни, включения крупных камней, обломков кирпича, фрагментов арматуры

Разрез № Сн-103-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, разрез в стенке котлована, N 55°43,039', E 037°30,313'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: отсутствует

Название: литострат глееватый песчано-супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН1</i>	$\frac{0-47}{47}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буром фоне ржавые, черные пятна, сероватые и белесые прослои, гранулометрический состав неоднородный: песок, сероватые прослои - глина, бесструктурный, граница ровная, переход заметный по цвету
<i>ТСН2_g</i>	$\frac{47-66}{19}$	Влажноватый, сизовато-серый, супесь, структура мелкоглыбисто-плитчатая, включения мелких камней, неразложившейся древесины

Разрез № Сн-104-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, старый газон, N 55°43,011', E 037°30,333'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: пырей ползучий, хвощ луговой, тысячелистник обыкновенный, одуванчик лекарственный

Название: урбанозем маломощный легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>Urat</i>	$\frac{0-11}{11}$	Свежий, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне рыжие пятна и темно-серые прослой, опесчаненный легкий суглинок, структура комковато-порошистая, много корней, бусы по корням растений, червороины, включения битого кирпича и мелких камней ($d < 1$ см), крупных камней ($d = 5$ см), переход ясный, граница волнистая
<i>TCH</i>	$\frac{11-44}{33}$	Свежий, серовато-желтый бесструктурный песок, редкие корни, включения мелких камней

Разрез № Сп-105-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, старый газон в 5 м от заброшенного дома, N 55°43,016', E 037°30,224'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: одуванчик лекарственный, яснотка белая, зверобой продырявленный, мятлик луговой, крапива двудомная, подорожник большой

Название почвы: серогумусовая техногенная сильногумусированная легкосуглинистая на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>A_{Yur, s}</i>	$\frac{0-15}{15}$	Свежий, темно-серый, легкий суглинок, структура зернисто-комковатая, бусы по корням, много корней, переход ясный, граница волнистая
<i>TCH1</i>	$\frac{15-42}{27}$	Свежий, коричневатого-серый с черными и рыжими пятнами, легкий суглинок, структура мелкоглыбисто-плитчатая, редкие корни, мелкие камни, переход заметный, граница волнистая
<i>TCH2</i>	$\frac{42-47}{5}$	Свежий, серовато-бурый, опесчаненный супесь, структура плитчатая, включения битого кирпича и камней

Разрез № Сп-106-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, на насыпных грунтах возле заброшенного дома (~ в 5 м), N 55°43,036', E 037°30,207'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: сорная разреженная (клевер луговой, пижма обыкновенная, лапчатка гусиная, мятлик луговой)

Название почвы: литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH</i>	$\frac{0-45}{45}$	Влажный, окраска неоднородная: на серо-буром фоне палевые, черные, рыжие пятна, супесь, структура мелкоглыбистая, редкие корни, обильные включения битого кирпича, обломков бетона, арматуры, древесины, гальки, прослой песка

Разрез № Сп-107-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, в северной части участка, на старом газоне в 5 м от забора, N 55°43,057', E 037°30,218'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: кострец безостый, одуванчик лекарственный, тысячелистник обыкновенный, лебеда садовая, полынь обыкновенная, яснотка белая, клевер луговой, лапчатка гусиная, посадки туи

Название почвы: серогумусовая техногенная малогумусированная легкосуглинисто-супесчаная на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>A_{Yur1}</i>	$\frac{0-14}{14}$	Свежий, буровато-серый, опесчаненный легкий суглинок, структура комковатая, мало корней, включения мелких камней, граница волнистая, переход ясный
<i>TCH1</i>	$\frac{14-19}{5}$	Свежий, окраска неоднородная: на серовато-желтом фоне охристые пятна, супесь, структура плитчато-глыбистая, включения мелких камней, граница волнистая, переход ясный
<i>A_{Yur2}</i>	$\frac{19-28}{9}$	Свежий, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне бурые пятна, в подошве иссиня-черный прослой, опесчаненный легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, редкие корни, включения пластмассы, камней, битого кирпича, проволоки, граница ровная, переход заметный

<i>TCH2</i>	$\frac{28-45}{17}$	Свежий, окраска неоднородная: на палево-желтом фоне рыжие и охристые пятна, супесь, структура плитчатая
-------------	--------------------	---

Разрез № Сн-108-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, старый заросший газон, рядом навалы грунтов с крупными камнями, N 55°43,031', E 037°30,352'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: одуванчик лекарственный, мятлик луговой, подорожник большой, полынь обыкновенная

Название почвы: реплантозем супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>RATs</i>	$\frac{0-14}{14}$	Влажноватый, буровато-серый, супесь, структура плитчато-комковатая, редкие корни, граница волнистая, переход заметный
<i>TCH</i>	$\frac{14-58}{44}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне черные, рыжие и белые пятна и черные прослои, супесь, структура мелко-глыбистая, редкие корни, включения крупных камней (d=3-4 см), обломков кирпича

Разрез № Сн-109-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, заросшие сорной растительностью насыпные грунты (~1 год после засыпки), N 55°43,000', E 037°30,290'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: одуванчик лекарственный, сурепка дуговидная, ежа сборная, зверобой продырявленный

Название почвы: органолитострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH1s</i>	$\frac{0-15}{15}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне черные, красновато-бурые и рыжие пятна, опесчаненный легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, редкие корни, в нижней части плохо разложившиеся растительные остатки, включения камней, битого кирпича, граница волнистая, переход ясный
<i>RATs погр.</i>	$\frac{15-22}{7}$	Влажноватый, темно-серый, легкий суглинок, структура комковатая, бусы по корням растений, много корней, обильные слабо-разложившиеся растительные остатки, граница ровная, переход заметный
<i>TCH2</i>	$\frac{22-67}{45}$	Свежий, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне черные, рыжие, белесые и палево-пятна, легкий суглинок, структура мелкоглыбистая, уплотненный, обильные включения битого кирпича, угля, стекла, резины, в средней части крупных камней

Разрез № Сн-110-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, недавно отсыпанные техногенные грунты, N 55°43,015', E 037°30,260'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: береза повислая; ежа сборная, купырь лесной, яснотка белая, одуванчик лекарственный

Название почвы: органолитострат легкосуглинисто-супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH1</i>	$\frac{0-50}{50}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером черные, рыжие и палево-пятна, легкий суглинок, структура мелкоглыбистая, редкие корни, включения камней, древесины, битого кирпича, пенопласта, граница волнистая, переход заметный
<i>TCH2s</i>	$\frac{50-75}{25}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-сером фоне бурые пятна, супесь, плитчато-глыбистая структура, мелкопористый, включения камней, битого кирпича

Разрез № Сн-111-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, N 55°42,966', E 037°30,322'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: одуванчик лекарственный, тысячелистник обыкновенный, лапчатка гусиная

Название почвы: литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH1</i>	$\frac{0-22}{22}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне серые пятна, супесь, мелкоглыбистая, включения камней (d~5 см), граница ровная, переход ясный
<i>TCH2</i>	$\frac{22-27}{5}$	Влажноватый, коричневато-серый, легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, включения мелких камней и обломков кирпича, граница неровная, переход заметный
<i>TCH3</i>	$\frac{27-61}{34}$	Свежий, буровато-серый, супесь, структура глыбистая, обильные включения битого кирпича, камней, гравия, щебня

Разрез № Сн-112-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, N 55°43,029', E 037°30,436'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: одуванчик лекарственный, лапчатка гусиная, полынь обыкновенная, подорожник большой, тысячелистник обыкновенный

Название почвы: литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH</i>	$\frac{0-41}{41}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-желтом фоне светло-серые пятна, супесь с прослоями среднего суглинка, бесструктурный, рыхлый, включения камней, щебня, битого кирпича, арматуры

Разрез № Сн-113-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, в верхней части небольшого котлована с широкой трубой, возвышение в южной части участка, N 55°42,938', E 037°30,401'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: клевер луговой, лебеда садовая, ежа сборная

Название почвы: органолитострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH1</i>	$\frac{0-9}{9}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-сером фоне рыжие и палевые пятна, легкий суглинок, комковато-глыбистая структура, рыхлый, мягкий, редкие корни, включения камней, битого кирпича, арматуры, граница ровная, переход ясный
<i>TCH2</i>	$\frac{9-70}{61}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне темно-серые пятна, легкий суглинок с глинистыми прослоями, глыбистая структура, единичные корни, включения битого кирпича, древесины, арматуры

Разрез № Сн-114-13

Привязка: ул. Минская, площадка строительства жилого комплекса, N 55°42,930', E 037°30,368'

Геоморфология: склон аллювиальной равнины, прорезанной долиной р. Сетунь и сетью оврагов

Растительность: одуванчик лекарственный, лапчатка гусиная

Название почвы: органолитострат среднесуглинисто-супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH1</i>	$\frac{0-20}{20}$	Свежий, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне темно-серые пятна, средний суглинок, структура глыбистая, редкие корни, включения крупных камней, граница волнистая, переход ясный
<i>RAT погр.</i>	$\frac{20-25}{5}$	Влажноватый, темно-серый, легкий суглинок, структура комковато-порошистая, включения мелких камней, граница ровная, переход ясный
<i>TCH2</i>	$\frac{25-45}{20}$	Свежий, на буровато-сером фоне рыжие, белесые и черные пятна, супесь, структура глыбисто-плитчатая, редкие корни, включения камней, битого кирпича, арматуры, древесины

Участок IV

Разрез № П-101-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,147', E 037°21,759'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая (клевер луговой, мятлик луговой, одуванчик лекарственный, ромашка непахучая, полынь обыкновенная, лисохвост луговой, пижма обыкновенная)

Название почвы (ТПО): пелозем гумусовый поверхностно глееватый на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>Wg</i>	$\frac{0-10}{10}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на коричнево-сером фоне темные, сизоватые и ржавые пятна, опесчаненный легкий суглинок, комковато-порошистая структура, много корней, включения камней, битого кирпича, арматуры, граница волнистая, переход ясный
<i>ТСН</i>	$\frac{10-40}{30}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буро-сером фоне темные пятна, пылеватая супесь, плитчато-комковатая структура, включения полиэтилена, камней

Разрез № П-102-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,147', E 037°21,713'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая разреженная (клевер луговой, ромашка непахучая, полынь обыкновенная)

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-50}{50}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буrom фоне рыжие, охристые и черные пятна, супесь, структура комковато-глыбистая, мелкие корни

Разрез № П-103-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,153', E 037°21,738'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН_g</i>	$\frac{0-45}{45}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буром фоне с сизоватым оттенком охристые, рыжие и черные пятна, супесь, структура глыбисто-комковатая, крупные и мелкие корни, много щебня, обломков кирпича

Разрез № П-104-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,138', E 037°21,769'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая разреженная (клевер луговой, полынь обыкновенная, одуванчик лекарственный, мятлик луговой, лапчатка гусиная, тысячелистник обыкновенный, мать-и-мачеха обыкновенная)

Название почвы (ТПО): органолитострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, неоднородный, состоит из трех слоев, первый слой - буровато-темно-серый легкий суглинок, второй слой - бурый средний суглинок, третий слой темно-бурый легкий суглинок, структура глыбисто-ореховато-порошистая, включения мелких и средних камней

Разрез № П-105-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,123', E 037°21,788'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая разреженная (клевер луговой, мать-и-мачеха обыкновенная, мятлик луговой, полынь обыкновенная, одуванчик лекарственный, лисохвост луговой)

Название почвы (ТПО): органолитострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН_g</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне рыжие, охристые и темно-серые пятна, в нижней части сизоватый оттенок, опесчаненная супесь, структура комковато-пылеватая, много тонких корней, включения камней

Разрез № П-106-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,114', E 037°21,798'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая разреженная (мать-и-мачеха обыкновенная, полынь обыкновенная, клевер луговой, донник белый)

Название почвы (ТПО): органолитострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-50}{50}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне охристые, светло-бурые и темные пятна, опесчаненная супесь, структура комковато-пылеватая, включения камней, битого кирпича

Разрез № П-107-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,101', E 037°21,793'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая (клевер луговой, лисохвост луговой, одуванчик лекарственный, мать-и-мачеха обыкновенная)

Название почвы (ТПО): пелозем гумусовый на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>W</i>	$\frac{0-8}{8}$	Влажноватый, коричневато-серый, легкий суглинок, структура комковато-порошистая, обильные мелкие корни, почвенная фауна, граница ровная, переход постепенный
<i>ТСН</i>	$\frac{8-40}{32}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне темные и светлые пятна, опесчаненный легкий суглинок, структура глыбисто-пылеватая, включения мелких камней

Разрез № П-108-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,092', E 037°21,774'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая (одуванчик лекарственный, клевер луговой, лапчатка гусиная, пижма обыкновенная, злаки)

Название почвы (ТПО): пелозем гумусовый на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>W</i>	$\frac{0-3}{3}$	Влажноватый, буровато-серый, легкий суглинок, структура комковато-порошистая, обильные корни, включения мелких камней, граница волнистая, переход заметный
<i>ТСН</i>	$\frac{3-40}{37}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне светлые, охристые и черные пятна, легкий суглинок, структура комковато-плитчатая, редкие корни, много камней, включения щебня

Разрез № П-109-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,115', E 037°21,770'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая (мать-и-мачеха обыкновенная, полынь обыкновенная, клевер луговой, одуванчик лекарственный, лапчатка гусиная, мятлик луговой)

Название почвы (ТПО): пелозем гумусовый на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
W	$\frac{0-5}{5}$	Влажноватый, буровато-серый, супесь, структура комковато-порошистая, корни, включения полиэтилена на глубине 3 см, граница ровная, переход ясный
TCH	$\frac{5-50}{45}$	Влажноватый, светло-бурый, в нижней части с сероватым оттенком, легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, редкие корни, включения камней, граница ровная, переход ясный

Разрез № П-110-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,124', E 037°21,733'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая разреженная (мать-и-мачеха обыкновенная, полынь обыкновенная, одуванчик лекарственный, клевер луговой, злаки)

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
TCH	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на охристо-сером фоне ржавые и черные пятна, опесчаненная супесь, структура глыбисто-порошистая, включения камней

Разрез № П-111-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,134', E 037°21,742'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая (полынь обыкновенная, одуванчик лекарственный, клевер луговой, мать-и-мачеха обыкновенная, злаки)

Название почвы (ТПО): органолитострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
TCH	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне темно-серые и рыжие пятна, темно-серый прослой, супесь, структура глыбисто-порошистая, много мелких и средних камней

Разрез № П-112-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,098', E 037°21,715'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
TCH	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, серовато-желтый, опесчаненная супесь, структура комковато-порошистая с элементами бесструктурности, включения камней

Разрез № П-113-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,107', E 037°21,725'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне темно-серые и рыжие пятна, в нижней части серовато-сизые пятна, супесь, структура глыбисто-порошистая, редкие корни, включения мелких и средних камней

Разрез № П-114-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,128', E 037°21,701'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат связнопесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: переходит от серовато-желтой к буровато-серой, песок, бесструктурный, включения мелких камней

Разрез № П-115-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,083', E 037°21,748'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая (злаки, клевер луговой, одуванчик лекарственный)

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-50}{50}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-светло-сером фоне рыжие, палевые и черные пятна, опесчаненная супесь, структура комковато-порошистая, включения больших и средних камней, мелкие корни

Разрез № П-116-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,072', E 037°21,743'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая (злаки, клевер луговой, мать-и-мачеха обыкновенная)

Название почвы (ТПО): пелозем гумусовый глееватый на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>W</i>	$\frac{0-5}{5}$	Влажноватый, буровато-серый, легкий суглинок, структура глыбисто-комковатая, много корней, редкие включения мелких камней
<i>ТСН_г</i>	$\frac{5-50}{45}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне рыжие, темно-серые и сизоватые пятна, легкий суглинок, структура глыбисто-порошистая, обильные корни, включения средних и мелких камней

Разрез № П-117-11

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №3, N 55°49,105', E 037°21,780'

Геоморфология: засыпанная центральная пойма р. Москвы

Растительность: сорная разнотравно-злаковая (клевер луговой, полынь обыкновенная, мать-и-мачеха обыкновенная, злаки)

Название почвы (ТПО): пелозем гумусовый глубоко глееватый на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>W</i>	$\frac{0-10}{10}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серо-буром фоне светлые, ржавые, темные пятна, опесчаненный легкий суглинок, структура пылевато-комковатая, рыхлый, мягкий, обильные корни, включения полиэтилена, щебня, камней (диаметром 5-7 мм), переход заметный по плотности и цвету, граница волнистая

<i>TCH1</i>	$\frac{10-25}{15}$	Влажноватый, окраска неоднородная: цвет буро-охристый со светлыми пятнами и темными затеками, опесчаненная супесь, структура глыбисто-комковатая, рыхлый, твердоватый, много корней, включения камней (7-12 мм), стекла, переход ясный по плотности, граница волнистая
<i>TCH2</i>	$\frac{25-40}{15}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на коричневато-буром фоне черные, белые, рыжие пятна, средний суглинок, структура плитчато-ореховато-пылеватая, плотный, мягкий, редкие корни, включения редких крупных камней, много мелких камней, щебня, переход ясный по цвету и плотности, граница волнистая
<i>TCH3g</i>	$\frac{40-50}{10}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-сером фоне с сизоватым оттенком рыжие, охристые пятна, тяжелый суглинок, структура плитчато-глыбистая с элементами порошистости, уплотненный, твердый, включения щебня, переход заметный по плотности, граница волнистая
<i>TCH4g</i>	$\frac{50-75}{25}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-сером фоне с сизоватым оттенком белые, ржавые, охристые пятна, тяжелый суглинок, структура плитчато-ореховатая с элементами порошистости, уплотненный, твердый, редкие корни, включения камней, щебня, мелкие обломки кирпича

Разрез № П-201-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,367', E 037°22,636'

Геоморфология: засыпанный заболоченный участок центральной поймы р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями с включениями органики и слоями сапропеля

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH</i>	$\frac{0-70}{70}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне темные и охристые пятна, опесчаненный легкий суглинок, структура глыбисто-порошистая, включения стекла, камней, плитки, проводов, полиэтилена, пенопласта, кирпичей; на глубине 40-50 см – черные включения битума, на глубине 60 см – включения пенобетона

Разрез № П-202-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,377', E 037°22,662'

Геоморфология: засыпанный заболоченный участок центральной поймы р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями с включениями органики и слоями сапропеля

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне с сизоватым оттенком охристые пятна, опесчаненная супесь, бесструктурный, мажущийся, включения соломы, древесины, опилок, стекла, кирпичей, камней

Разрез № П-203-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,409', E 037°22,710'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат связнопесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: на светло-буром фоне черные пятна, супесь, структура комковато-порошистая, природные окатанные камни, сверху живые корни, на глубине 15 см – прослой светлого песка

Разрез № П-204-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,426', E 037°22,705'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат связнопесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, коричневато-серый, супесь, структура глыбисто-комковато-порошистая, включения камней

Разрез № П-205-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,427', E 037°22,677'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат глеевый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН1</i>	$\frac{0-30}{30}$	Влажноватый, окраска неоднородная: светло-бурый со светлыми и охристыми пятнами, увлажненный, опесчаненная супесь, структура комковато-порошистая
<i>ТСН2g</i>	$\frac{30-40}{40}$	Влажный, сизый, глина, бесструктурный

Разрез № П-206-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,440', E 037°22,658'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСНg</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: на коричневато-сером фоне бурые, сизые и черные пятна, опесчаненная супесь, структура глыбистая, включения битого кирпича, полиэтилена, досок

Разрез № П-207-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,439', E 037°22,632'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат глееватый легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСНg</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буром фоне с сизоватым оттенком красные и черные пятна и светлые вкрапления, легкий суглинок, структура глыбисто-комковато-порошистая, оглеенный

Разрез № П-208-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,429', E 037°22,611'

Геоморфология: засыпанный заболоченный участок центральной поймы р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСНg</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: на светло-буром фоне с сизоватым оттенком ржавые пятна, супесь, бесструктурный, оглеенный

Разрез № П-209-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,412', E 037°22,606'

Геоморфология: засыпанный заболоченный участок центральной поймы р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых супесчано-песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: прослой светло-охристого и буроватого песка с черными и рыжими пятнами, опесчаненная супесь, структура комковато- порошистая

Разрез № П-217-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, N 55°49,640', E 037°22,569'

Геоморфология: низкая пойма р. Москвы

Растительность: осоки, побеги ив, молодых деревьев

Название почвы (ТПО): аллювиальная перегнойно-глеевая поверхностно-оглеенная легкосуглинисто-супесчаная на песчаных аллювиальных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>H</i>	$\frac{0-10}{10}$	Влажный, черный, легкий суглинок, структура творожистая, много корней, переход заметный по цвету, граница волнистая
<i>G</i>	$\frac{10-30}{20}$	Влажный, окраска неоднородная: буро-сизый с темными пятнами вокруг корней, легкий суглинок, структура творожистая, много корней, мелкие беспозвоночные, железисто-марганцевые примазки, переход ясный по цвету, граница волнистая
<i>CG</i>	$\frac{30-60}{30}$	Мокрый, сизый, на воздухе – бурый и ржавый, песок, бесструктурный, с 50 см стоит вода

Разрез № П-218-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, N 55°49,479', E 037°22,532'

Геоморфология: выступающий полуостров возле прируслового вала р. Москвы

Растительность: клен американский, яблоня домашняя, подорожник большой, одуванчик лекарственный, мятлик луговой, сныть обыкновенная, лопух большой

Название почвы (ТПО): дерново-подзолистая типичная глубоко осветленная малогумусированная супесчано-легкосуглинистая на аллювиальных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>AУ</i>	$\frac{0-10}{10}$	Влажноватый, буровато-серый, опесчаненная супесь, структура комковато-порошистая, плотный, твердоватый, много корней, включения угля от кострищ, переход заметный по цвету и корням, граница волнистая
<i>AEL</i>	$\frac{10-30}{20}$	Влажноватый, белесовато-серый, легкий суглинок, структура порошисто-комковатая с признаками горизонтальной делимости, рыхлый, твердоватый, много корней, переход ясный по цвету, граница волнистая
<i>EL</i>	$\frac{30-45}{25}$	Влажный, окраска неоднородная: палевый с темными пятнами, супесь, структура плитчатая, червороины, переход заметный по цвету, граница волнистая
<i>BT</i>	$\frac{45-60}{15}$	Влажный, коричневато-бурый, легкий суглинок, структура призматично-ореховатая, кутаны на гранях структурных отдельностей

Разрез № П-219-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,495', E 37°22,584'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат связнопесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-глинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-буром фоне черные пятна, сверху (10 см) светло-бурый с линзами темного песка, песок, бесструктурный, включения мелких камней

Разрез № П-220-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,499', E 037°22,597'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат связнопесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-глинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буром фоне светлые вкрапления, песок, бесструктурный, включения мелких камней

Разрез № П-221-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,519', E 037°22,610'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, бурый с прослоями светлого и темного песка, опесчаненная супесь, структура комковато-глыбистая, включения камней, битого кирпича, светлых известковых камней

Разрез № П-222-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,535', E 037°22,603'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): артиурбистрат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН_г</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: верхние 10 см - бурый, ниже – темно-серый с сизоватым оттенком, супесь, мажущийся, структура комковато-глыбисто-порошистая, включения мусора, мешков, ткани, полиэтилена, камней. Присутствует запах разложения органики.

Разрез № П-223-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,537', E 037°22,566'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат связнопесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: бурый со светлыми прослоями, опесчаненная супесь, структура пылевато-глыбистая, мелкие и средние камни

Разрез № П-224-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,545', E 037°22,584'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат глееватый супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН_г</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: на темно-буром фоне с сизоватым оттенком светлые и черные пятна, красно-бурые вкрапления, супесь, структура глыбистая, включения камней, обломков кирпича

Разрез № П-225-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,541', E 037°22,589'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: на буром фоне черные пятна и светлые прослои, опесчаненная супесь, структура пылевато-глыбистая, включения камней, снизу меловые отложения

Разрез № П-226-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,555', E 037°22,596'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-70}{70}$	Влажный, темно-бурый, опесчаненная супесь, структура пылевато-глыбистая, с 70 см стоит вода

Разрез № П-227-12

При Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,562', E 037°22,582'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буром фоне светлые и темные прослои, опесчаненный легкий суглинок, структура пылевато-порошистая, включения камней

Разрез № П-228-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,576', E 037°22,584'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: на темно-буром фоне красноватые, светлые и темные (торфяные) прослои, опесчаненный легкий суглинок, структура глыбисто-порошистая, мелкие корни, включения камней, кирпичей, древесины

Разрез № П-229-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,565', E 037°22,535'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): органолитострат среднесуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажный, окраска неоднородная: на темно-буром фоне черные пятна и светлые прослои, средний суглинок, структура порошисто-комковатая, включения мелких камней, корней

Разрез № П-230-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,574', E 037°22,504'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат среднесуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-буром фоне светлые, рыжие и черные пятна, опесчаненный средний суглинок, структура порошисто-комковатая, обильный корни в верхней части профиля, включения камней

Разрез № П-231-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,583', E 037°22,568'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-буром фоне черные пятна и рыжие прослои, опесчаненная супесь, структура сверху глыбистая, снизу – комковато-порошистая, мелкие корни

Разрез № П-232-12

При Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,598', E 037°22,566'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-буром фоне черные пятна, супесь, структура порошисто-глыбистая, включения белых камней

Разрез № П-233-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой комплекс, N 55°49,602', E 037°22,539'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, темно-бурый, супесь, структура комковато-глыбистая, много корней

Разрез № П-305-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,200', E 037°22,697'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: полынь обыкновенная, хвощ луговой, проростки клена американского, одуванчик лекарственный, вейник наземный, подорожник большой, вьюнок ползучий, клевер луговой; ива козья, клен американский

Название почвы (ТПО): серогумусовая техногенная малогумусированная супесчаная на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-супесчаными аллювиальными отложениями с включениями органики

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>A_{Yur}</i>	$\frac{0-12}{12}$	Свежий, коричневато-серый, супесь, структура комковато-порошистая, рыхлый, много корней, обильные включения мелкой гальки, граница волнистая, переход ясный
<i>TCH1</i>	$\frac{12-50}{38}$	Свежий, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне крупные бурые (глина) и мелкие черные и розовые (глина) пятна, супесь, структура глыбисто-комковатая, включения стекла, угля, обломков кирпича и камней (до 50%), граница ровная, переход резкий
<i>TCH2</i>	$\frac{50-70}{20}$	Свежий, желтовато-серый, песок с прослоями более светлого и тонкого песка, бесструктурный, рыхлый, включения мелких камней

Разрез № П-308-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,345', E 037°22,765'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: ромашка пахучая, паслен черный, лапчатка гусиная, мятлик луговой, подорожник большой, полынь обыкновенная

Название почвы (ТПО): литострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-супесчаными аллювиальными отложениями с прослоями торфа

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH</i>	$\frac{0-60}{60}$	Влажный, окраска неоднородная: на коричневато-буром фоне светло-бурые и черные пятна (уголь), рыжие вкрапления глины, опесчаненный легкий суглинок, структура плитчато-глыбистая, включения камней (до 2 см), угля

Разрез № П-310-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,335', E 037°22,806'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат песчаный на техногенных грунтах, подстилаемых песчано-супесчаными аллювиальными отложениями с прослоями торфа

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>TCH1</i>	$\frac{0-25}{20}$	Влажноватый, коричневато-серый, супесь, структура порошисто-глыбистая, уплотненный, плотнее в нижней части, включения камней (d=2,5 см), кирпича, прослойки темной глины, граница ровная, переход резкий по цвету, плотности, грансоставу
<i>TCH2</i>	$\frac{25-50}{25}$	Влажноватый, крупный светлый песок с прослоями более плотного и темного, бесструктурный, рыхлый

Разрез № П-313-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, проектируемый жилой микрорайон №4, N 55°49,253', E 037°22,766'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: мятлик луговой, мать-и-мачеха обыкновенная, крестовник обыкновенный, бодяк полевой, горошек мышиный, полынь обыкновенная

Название почвы (ТПО): пелозем гумусовый на техногенных грунтах, подстилаемых песчаными аллювиальными отложениями с включениями органики

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>W</i>	$\frac{0-6}{6}$	Влажноватый, буровато-серый, опесчаненный легкий суглинок, структура комковато-порошистая, много корней, мелкие камни (d до 1 см), граница волнистая, переход ясный
<i>TCH1</i>	$\frac{6-15}{9}$	Влажноватый, буровато-серый, легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, уплотненный, редкие корни, включения угля и органики, бурой глины, редкие камни (d до 1 см), граница ровная, переход резкий
<i>TCH2</i>	$\frac{15-18}{3}$	Влажноватый, мелкий рыжеватый песок (1 см) с мелкими камнями (d=0,5 см), ниже 2 см – более крупный и светлый песок, бесструктурный, рыхлый, граница ровная, переход ясный

<i>TCH3</i>	$\frac{18-70}{52}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на коричневато-сером фоне рыжие, бурые, охристые и темно-коричневые пятна, супесь, комковато-глыбистая структура, глинистые конкреции (темно-коричневые с рыже-красной границей)
-------------	--------------------	---

Разрез № П-401-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, 15 м от Волоколамского шоссе, N 55°49,513', E 037°21,896'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: ива козья, нивяник обыкновенный, подорожник большой, злаки, полынь обыкновенная, клевер луговой, лопух большой, одуванчик лекарственный

Название почвы (ТПО): пелозем гумусовый на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>W</i>	$\frac{0-6}{6}$	Влажный, окраска неоднородная: на буро-сером фоне черные и белые пятна, легкий суглинок, структура комковато-порошистая, включения камней, граница волнистая, переход ясный
<i>TCH</i>	$\frac{6-60}{54}$	Влажный, окраска неоднородная: на буро-сером фоне черные, рыжие (глина), белые и охристые пятна, легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, включения стекла, камней, обломков кирпичей, железного прута, угля. С 55 см вскрыта вода

Разрез № П-402-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, газон возле дома №1 по Павшинскому бул., N 55°49,465', E 037°21,948'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: подорожник большой, лапчатка гусиная, тысячелистник обыкновенный, одуванчик лекарственный, злаки

Название почвы (ТПО): рекреазем среднегумусированный легкосуглинисто-среднесуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>A_{Yur1}</i>	$\frac{0-15}{15}$	Влажноватый, коричневато-серый, опесчаненный легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, много корней, включения камней, переход ясный по цвету, граница ровная
<i>A_{Yur2}</i>	$\frac{15-23}{8}$	Влажноватый, коричневато-серый, темнее предыдущего, опесчаненный легкий суглинок, структура комковатая, живые муравьи, корни, включения камней, обломков кирпичей по всему профилю, переход ясный по цвету, граница волнистая
<i>TCH1</i>	$\frac{23-27}{4}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на коричневато-бурым фоне черные и белые пятна, средний суглинок, структура глыбистая, переход ясный, граница неровная
<i>TCH2</i>	$\frac{27-31}{4}$	Влажноватый, охристый, песок, бесструктурный, переход заметный, граница волнистая
<i>TCH3</i>	$\frac{31-38}{7}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на рыжевато-коричневом фоне черные, охристые и белые пятна, опесчаненный легкий суглинок, структура плитчато-глыбистая, переход заметный, граница неровная
<i>TCH4</i>	$\frac{38-45}{7}$	Влажноватый, более светлый и мелкий песок, чем TCH3

Разрез № П-403-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, газон в 15 м от Павшинского бульвара, N 55°49,430', E 037°22,006'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: тысячелистник обыкновенный, одуванчик лекарственный, яснотка белая, клевер луговой, подмаренник цепкий, злаки

Название почвы (ТПО): реплантозем на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>RAT</i>	$\frac{0-7}{7}$	Влажный, темно-серый, легкий суглинок, структура комковато-порошистая, много корней, бусы по корням, мажущийся, содержит много оторфованных остатков, переход ясный по цвету, граница волнистая
<i>TCH</i>	$\frac{7-50}{43}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-бурым фоне серые, черные, белые, рыжие и зеленоватые пятна, опесчаненный легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, включения камней, обломков кирпичей

Разрез № П-404-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, газон на углу дома №7, 30м от Павшинского бульвара, N 55°49,390', E 037°22,068'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: подрост березы, облепихи, каштана, дуба, одуванчик лекарственный, подмаренник цепкий, лапчатка гусиная, клевер луговой, ромашка пахучая, пижма обыкновенная

Название почвы (ТПО): реплантозем на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>RAT</i>	$\frac{0-10}{10}$	Влажноватый, темно-серый, легкий суглинок, структура комковатая, много корней, бусы по корням, содержит оторфованные остатки, переход ясный, граница волнистая
<i>TCH</i>	$\frac{10-43}{33}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне черные и белые пятна, легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, включения обломков кирпичей, камней

Разрез № П-405-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, газон во дворе дома №7, возле детской площадки, N 55°49,357', E 037°22,160'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: нивяник обыкновенный, клевер луговой, лапчатка гусиная, подорожник большой, злаки

Название почвы (ТПО): реплантозем на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>RAT</i>	$\frac{0-14}{14}$	Влажноватый, темно-серый, легкий суглинок, структура комковатая, содержит оторфованные остатки, переход ясный по цвету, граница ровная
<i>TCH</i>	$\frac{14-50}{36}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буром фоне черные, темно-серые, белые и охристые пятна, супесь, структура комковато-глыбистая, включения обломков кирпичей, камней

Разрез № П-406-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, газон на Подмосковном бульваре, N 55°49,311', E 037°22,254'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: злаки, клевер луговой, подорожник большой, одуванчик лекарственный, мхи

Название почвы (ТПО): реплантозем на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>RAT</i>	$\frac{0-7}{7}$	Влажный, темно-серый, легкий суглинок, структура комковатая, переход ясный, граница ровная
<i>TCH</i>	$\frac{7-40}{33}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне темные прослойки и черные, белые, охристые пятна, легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, небольшие камни

Разрез № П-407-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, благоустроенный жилой квартал, заросший газон возле дома №12 по Подмосковному бул., N 55°49,312', E 037°22,370'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: клевер луговой, овсяница луговая, горец птичий, лисохвост луговой, крапива двудомная, подорожник большой

Название почвы (ТПО): реплантозем на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>RAT</i>	$\frac{0-7}{7}$	Влажноватый, темно-серый, структура комковатая, легкий суглинок, много корней, бусы по корням, содержит незначительное количество оторфованных остатков, переход ясный, граница волнистая
<i>TCH1</i>	$\frac{7-21}{14}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буром фоне серые и черные пятна, песок, бесструктурный, переход ясный, граница волнистая
<i>TCH2</i>	$\frac{21-65}{44}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне рыжие пятна, легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, переход ясный, граница волнистая

Разрез № П-408-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, заросший газон на краю стройплощадки возле Красногорского бульвара, N 55°49,287', E 037°22,493'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: паслен черный, мать-и-мачеха обыкновенная, полынь обыкновенная, клевер луговой, нивяник обыкновенный, злаки

Название почвы (ТПО): реплантозем на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
RAT	$\frac{0-5}{5}$	Влажный, темно-серый, легкий суглинок, структура комковатая, много корней, бусы по корням, содержит оторфованные остатки, включения древесины, камней, переход ясный, граница ровная
TCH1	$\frac{5-30}{25}$	Влажный, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне черные, белые, охристые пятна, супесь, структура комковато-глыбистая, включения камней, полиэтилена, переход ясный, граница волнистая
TCH2	$\frac{30-50}{20}$	Мокрый, окраска неоднородная: на буром фоне темные пятна, песок, бесструктурный, снизу – вода

Разрез № П-409-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, пустырь, проектируемый жилой квартал №4, N 55°49,284', E 037°22,574'

Геоморфология: засыпанная пойма р. Москвы

Растительность: паслен черный, мать-и-мачеха обыкновенная, мятлик луговой, тысячелистник обыкновенный, клевер луговой (сильно разреженная)

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
TCH	$\frac{0-45}{45}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне черные, рыжие и белые пятна, супесь, структура комковато-глыбистая, редкие корни, включения мелких камней, обломков кирпичей, досок, пластмассы

Разрез № П-410-12

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, левый берег р. Москвы, 30 м от воды, проектируемый жилой квартал №4, N 55°49,224', E 037°22,720'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: ивы, паслен черный, мать-и-мачеха обыкновенная, злаки

Название почвы (ТПО): литострат среднесуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
TCH	$\frac{0-50}{50}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне черные затеки, рыжие прослойки и белые пятна, средний суглинок, структура плитчато-глыбистая, включения камней, обломков кирпичей

Разрез № П-503-13

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, на газоне в 15 м от Павшинского бульвара, N 55°49,428', E 037°22,008'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: клевер луговой, одуванчик лекарственный, подорожник большой, сурепка прямая, звездчатка дубравная, лапчатка гусиная, тысячелистник обыкновенный

Название почвы (ТПО): реплантозем на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
RAT	$\frac{0-14}{14}$	Влажноватый, темно-серый с бурными пятнами, опесчаненный легкий суглинок, мелкокомковатая структура, обильные корни, бусы по корням, переход заметный, граница волнистая
TCH	$\frac{14-37}{23}$	Влажноватый, влажнее предыдущего, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне темно-серые, бурые, белесые пятна, тяжелый суглинок, структура плитчато-глыбистая, редкие корни, включения камней, арматуры

Разрез № П-505-13

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, благоустроенный жилой квартал, газон во дворе дома №7 возле детской площадки, N 55°49,359', E 037°22,164'

Геоморфология: засыпанная и рекультивированная пойма р. Москвы

Растительность: тысячелистник обыкновенный, одуванчик лекарственный, будра плющевидная, мать-и-мачеха обыкновенная, клевер луговой, подорожник большой, лапчатка гусиная, горец птичий

Название почвы (ТПО): реплантозем глубоко глееватый на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
RAT	$\frac{0-8}{8}$	Влажноватый, темно-серый, близкий к черному, легкий суглинок, структура комковато-порошистая, бусы по корням, обильные корни, среднеразложенные растительные остатки, граница ровная, переход резкий
TCH1	$\frac{8-25}{17}$	Влажноватый, влажнее предыдущего, окраска неоднородная: на рыжевато-буром фоне палевые и черные пятна, супесь, бесструктурный, рыхлый, граница волнистая, переход ясный
TCH2g	$\frac{25-40}{15}$	Влажный, окраска неоднородная: на сером фоне красноватые, белесые, сизые пятна, легкий суглинок, структура плитчатая, включения камней, битого кирпича

Разрез № П-510-13

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, левый берег р. Москвы, 30 м от воды, проектируемый жилой квартал № 4, N 55°49,242', E 037°22,694'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: полынь обыкновенная, мать-и-мачеха обыкновенная, сурепка прямая, дудник лесной, хвощ луговой

Название почвы (ТПО): литострат супесчано-легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
TCH1	$\frac{0-40}{40}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне черные, рыжие, белесые пятна и палево-сероватые прослои, супесь с прослоями песка, структура глыбисто-плитчатая, редкие корни, включения угля, камней (d~2 см), стекла, битого кирпича
TCH2	$\frac{40-55}{15}$	Влажноватый, серовато-бурый, легкий суглинок, глыбисто-плитчатая структура, включения камней, обломков кирпича

Разрез № П-511-13

Привязка: Московская обл., г. Красногорск, Павшинская пойма, левый берег р. Москвы, 30 м от воды, проектируемый жилой квартал № 4, N 55°49,230', E 037°22,755'

Геоморфология: засыпанная низкая пойма р. Москвы

Растительность: клевер луговой, полынь обыкновенная, ромашка пахучая, мать-и-мачеха обыкновенная, пижма обыкновенная, подорожник большой, одуванчик лекарственный

Название почвы (ТПО): литострат глееватый легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
TCH1	$\frac{0-11}{11}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на серовато-буром фоне рыжие, черные пятна, супесь, ближе к тяжелому, комковато-глыбистая структура, редкие корни, включения камней, битого кирпича, переход ясный, граница волнистая
TCH2g	$\frac{11-40}{29}$	Сырой, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне сизые и черные пятна, легкий суглинок с прослоями супеси, структура глыбистая, признаки оглеения, обильные камни

Участок V

Разрез № Зар-1-12

Привязка: Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Заречье, участок строительства офисного центра

Геоморфология: засыпанная пойма р. Сетунь

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат легкосуглинистый на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-50}{50}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на буровато-сером фоне черные затеки и рыжие пятна, легкий суглинок, структура плитчато-глыбистая, включения камней, обломков кирпичей

Разрез № Зар-3-12

Привязка: Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Заречье, участок строительства офисного центра

Геоморфология: пойма р. Сетунь

Растительность: луговая разнотравно-злаковая

Название почвы (ТПО): аллювиальная перегнойно-глеевая среднесуглинистая на песчаных аллювиальных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>H</i>	$\frac{0-10}{10}$	Влажный, темно-коричневый, средний суглинок, структура творожистая, много корней, переход заметный по цвету, граница волнистая
<i>G</i>	$\frac{10-30}{20}$	Влажный, окраска неоднородная: буро-сизый с темными пятнами вокруг корней, легкий суглинок, структура творожистая, много корней, железисто-марганцевые примазки, переход ясный по цвету, граница волнистая
<i>CG</i>	$\frac{30-60}{30}$	Мокрый, сизый, песок, бесструктурный, с 60 см стоит вода

Разрез № Зар-5-12

Привязка: Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Заречье, участок строительства офисного центра

Геоморфология: засыпанная пойма р. Сетунь

Растительность: отсутствует

Название почвы (ТПО): литострат супесчаный на техногенных грунтах, подстилаемых аллювиальными отложениями

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>ТСН</i>	$\frac{0-60}{60}$	Влажноватый, окраска неоднородная: на темно-буром фоне черные пятна, супесь, структура порошисто-глыбистая, включения камней и битого кирпича

Разрез № Зар-11-12

Привязка: Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Заречье, участок строительства офисного центра

Геоморфология: пойма р. Сетунь

Растительность: луговая разнотравно-злаковая

Название почвы (ТПО): аллювиальная серогумусовая тяжелосуглинистая на песчаных аллювиальных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>Ad</i>	$\frac{0-5}{5}$	Влажный, буровато-серый, состоит из плохо разложившихся растительных остатков
<i>AУ</i>	$\frac{5-27}{22}$	Влажный, буровато-серый, тяжелый суглинок, структура комковато-порошистая, много корней, переход заметный по цвету, граница волнистая
<i>CG</i>	$\frac{27-60}{33}$	Мокрый, сизо-бурый, тяжелый суглинок, бесструктурный, с 60 см стоит вода

Разрез № Зар-19-12

Привязка: Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Заречье, участок строительства офисного центра

Геоморфология: пойма р. Сетунь

Растительность: луговая разнотравно-злаковая

Название почвы (ТПО): аллювиальная перегнойно-глеевая тяжелосуглинистая на песчаных аллювиальных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
<i>H</i>	$\frac{0-8}{8}$	Влажный, черный, тяжелый суглинок, мажущийся, много корней, переход заметный по цвету, граница волнистая
<i>G</i>	$\frac{8-25}{17}$	Влажный, окраска неоднородная: буро-сизый с темными пятнами вокруг корней, легкий суглинок, бесструктурный, много корней, железисто-марганцевые примазки, переход ясный по цвету, граница волнистая

CG	$\frac{25-60}{35}$	Мокрый, сизый, песок, бесструктурный, с 60 см стоит вода
----	--------------------	--

Разрез № Зар-21-12

Привязка: Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Заречье, участок строительства офисного центра

Геоморфология: пойма р. Сетунь

Растительность: луговая разнотравно-злаковая

Название почвы (ТПО): аллювиальная серогумусовая тяжелосуглинистая на песчаных аллювиальных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
AУ	$\frac{0-18}{18}$	Влажный, серый, тяжелый суглинок, структура комковатая, много корней, переход заметный по цвету, граница волнистая
CG	$\frac{18-55}{37}$	Мокрый, сизо-бурый, тяжелый суглинок, бесструктурный, с 50 см стоит вода

Разрез № Зар-23-12

Привязка: Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Заречье, участок строительства офисного центра

Геоморфология: пойма р. Сетунь

Растительность: луговая разнотравно-злаковая

Название почвы (ТПО): аллювиальная перегнойно-глеевая тяжелосуглинистая на песчаных аллювиальных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
H	$\frac{0-11}{11}$	Влажный, черный, тяжелый суглинок, мажущийся, много корней, переход заметный по цвету, граница волнистая
G	$\frac{11-31}{20}$	Влажный, окраска неоднородная: серовато-сизый с ржавыми пятнами, легкий суглинок, бесструктурный, много корней, переход ясный по цвету, граница волнистая
CG	$\frac{20-60}{40}$	Мокрый, сизый, песок, бесструктурный, с 60 см стоит вода

Разрез № Зар-25-12

Привязка: Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Заречье, участок строительства офисного центра

Геоморфология: пойма р. Сетунь

Растительность: луговая разнотравно-злаковая

Название почвы (ТПО): аллювиальная серогумусовая среднесуглинистая на песчаных аллювиальных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
AУ	$\frac{0-21}{21}$	Влажный, буровато-серый, средний суглинок, структура комковато-порошистая, много корней, переход заметный по цвету, граница волнистая
CG	$\frac{21-63}{42}$	Мокрый, буровато-сизый, легкий суглинок, бесструктурный, с 60 см стоит вода

Щелковское подземное хранилище природного газа

Разрез № 1

Привязка: Московская область, г. Щелково, зона рассеяния УГ газов ПХГ, 70 м на север от Щелковского ш., 500 м на северо-восток от развилки дорог на Щелково, Москву и Звездный Городок

Геоморфология: слабоогнутый склон холма водно-ледниково-озерного происхождения

Растительность: разнотравно-злаковая (ежа сборная, одуванчик лекарственный, пижма обыкновенная, звербой перфорированный, ромашка, полынь обыкновенная, мятлик луговой)

Название почвы (ТПО): агродерново-подзолистая типичная среднепахотная легкосуглинистая на песчаных водно-ледниково-озерных отложениях

Гори-зонт	Глубина, см	Описание горизонтов
P	$\frac{0-28}{28}$	Свежий; коричневат-серый; легкий суглинок; структура мелко-комковато-порошистая; мягкий; сложение уплотненное, становится более плотным в нижней части; пористый; много корней, бусы по корням растений; много мелких камней (d=1 см); граница волнистая; переход резкий по цвету.

<i>EL</i>	<u>28-37</u> 9	Свежий; окраска неоднородная: на буровато-палевом фоне светлое пятно; супесь; структура острогранно-призмовидная; уплотненный; мягкий; единичные корни; ходы червей, капролиты; включения камней (d=0,5-3 см); граница неровная; переход постепенный по цвету и гранулометрическому составу.
<i>BT</i>	<u>37-77</u> 40	Свежий; окраска неоднородная: на буром фоне коричневые и палевые пятна; бурый – супесь с мелкими камнями, темные пятна – сцементированные с крупными частицами песка, палевое пятно – мелкий рыхлый песок; структура мелкоглыбистая с элементами бесструктурности; единичные корни; рыхлый; уплотненный; много пор (1-3 мм); много камней (d=1-5 см); граница волнистая; переход ясный по цвету.
<i>BC</i>	<u>77-112</u> 35	Свежий; темно-бурый; крупный, рыхлый бесструктурный песок; много мелких камней (до 1 см).

ПРИЛОЖЕНИЕ II. Некоторые физические и химические свойства почв участка I

Почвы	№ разреза	Горизонт	Результаты анализа гран. состава	Физ. глина, %	Ил, %	Плотность, г/см ³	Порозность, %	Воздухо-емкость (Пор. аэрации), %	Паэр/Побц	Удел. пов-ть, м ² /г	Абиотическое поглощение, мг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	pH	ОВП, мВ (n=10)	С орг, %	Карбонаты, %	ЛРС, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Урбанизированные (в т.ч. маломощн.)	МГУ-0-13	U	суглинок средн.	34,54	17,17	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	110,6	8,6	7,20	н.о.	2,79	0,47	н.о.	
		TCH	суглинок средн.	39,56	18,72	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	91,5	4,4	7,01	н.о.	0,72	0,35	н.о.	
	МГУ-1-13	U	суглинок легк.	28,11	13,74	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	149,1	2,7	6,70	н.о.	3,85	0,37	н.о.	
Серогумусовые техногенные	МГУ-3-13	AУur	суглинок средн.	38,25	16,94	0,86	73,44	47,40	0,65	127,4	5,2	5,94	576±4	3,85	0,40	н.о.	
		TCHt	суглинок тяжел.	44,96	27,03	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	138,4	8,5	5,60	630±5	0,66	0,36	н.о.	
		TCH	суглинок тяжел.	49,43	28,11	1,18	52,74	30,40	0,58	154,3	8,1	6,45	676±6	0,11	0,49	н.о.	
	МГУ-9-13	AУur	суглинок средн.	33,36	15,35	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	128,8	7,8	7,45	559±6	2,26	0,41	н.о.
		TCH1	суглинок средн.	33,64	13,72	1,07	57,36	35,54	0,62	80,9	8,2	6,64	561±7	1,86	1,59	н.о.	
		TCH2	супесь	18,93	9,09	1,20	51,90	36,48	0,70	59,3	7,5	6,45	574±7	0,56	0,36	н.о.	
		TCH3	песок связан.	6,05	1,59	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	7,66	565±7	н.о.	0,10	н.о.
Рекреационные	МГУ-12-13	RAT1	суглинок средн.	39,34	19,04	0,99	60,36	20,53	0,34	98,5	9,9	6,09	613±5	3,48	0,10	н.о.	
		RAT2	суглинок средн.	37,21	19,28	1,05	59,42	19,23	0,32	100,2	10,5	6,01	598±3	3,11	0,10	н.о.	
		TCH	н.о.	н.о.	н.о.	1,11	55,60	24,78	0,45	96,4	7,0	6,50	590±2	1,40	0,09	н.о.	

ПРИЛОЖЕНИЕ III. Некоторые физические и химические свойства почв участка II

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Реплант.	Ярц-7-11	RAT	суглинок средн.	32,71	16,55	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	60,57	19,09	7,95	н.о.	2,15	0,00	н.о.	
Литостр.	Ярц-1-11	TCH	суглинок легк.	23,44	14,64	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	35,82	38,13	7,76	н.о.	1,23	0,76	н.о.	
Литостраты глееватые	Ярц-2-11	TCH1	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
		TCH2g	супесь	12,69	8,01	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	13,74	41,48	8,25	н.о.	0,44	0,34	н.о.
	Ярц-3-11	TCH1	супесь	11,49	9,39	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	32,79	21,78	7,20	н.о.	0,77	0,00	н.о.
		TCH2g	супесь	18,68	10,67	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	28,86	20,45	8,92	н.о.	3,41	0,32	н.о.
	Ярц-10-11	TCHg	песок связан.	5,55	3,63	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	9,05	10,08	8,76	н.о.	0,18	0,35	н.о.
Ярц-11-11	TCHg	супесь	14,04	8,27	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	25,01	32,46	8,10	н.о.	0,98	0,54	н.о.	
Ярц-12-11	TCHg	супесь	19,83	11,71	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	33,51	21,55	7,70	н.о.	0,95	0,41	н.о.	

ПРИЛОЖЕНИЕ IV. Некоторые физические и химические свойства почв участка III

Почвы	№ разреза	Горизонт	Результаты анализа гран. состава	Физ. глина, %	Ил, %	Плотность, г/см ³	Порозность, %	Воздухо-емкость (Пор. аэрации), %	Паэр/Поощ	Удел. пов-ть, м ² /г	Абиотическое поглощение, мг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	pH	ОВП, мВ (n=10)	С орг, %	Карбонаты, %	ЛРС, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Урбаноэмы маломощные	Сн-102-13	U	суглинок легк.	29,72	13,40	1,59	36,48	7,13	0,20	89,12	9,36	7,25	425±5	2,55	0,35	0,17	
		TCH	суглинок тяжел.	43,01	24,50	1,93	23,72	0,84	0,04	166,02	9,40	8,42	452±5	0,19	0,35	0,08	
	Сн-104-13	Urat	н.о.	н.о.	н.о.	1,23	50,88	27,02	0,53	83,22	1,66	8,09	449±6	2,70	0,76	0,16	
		TCH	н.о.	н.о.	н.о.	1,67	33,26	22,81	0,69	7,99	5,78	7,62	418±4	0,11	0,37	0,05	
Серогумусовые техногенные	Сн-5-13	AYur	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	40,01	4,94	8,31	н.о.	2,18	1,25	0,07	
	Сн-105-13	AYur,s	суглинок легк.	25,67	16,23	1,30	47,95	16,32	0,34	146,90	4,46	6,68	450±6	4,55	0,14	0,21	
		TCH1	суглинок легк.	23,91	14,56	1,60	35,80	7,00	0,19	72,06	17,80	7,11	465±2	0,97	0,10	0,14	
	Сн-107-13	AYur1	н.о.	н.о.	н.о.	1,63	34,94	5,02	0,13	71,38	10,72	6,47	579±7	1,63	0,55	0,09	
		AYur2	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	91,79	н.о.	7,32	614±17	1,89	0,35	0,10	
		TCH2	н.о.	н.о.	н.о.	1,91	26,04	2,34	0,09	61,71	2,32	7,68	497±6	0,93	0,51	0,09	
Реплантаземы	Сн-108-13	RATs	супесь	19,67	8,73	1,27	49,00	4,03	0,08	80,24	2,79	6,68	480±2	5,64	0,49	0,30	
		TCH	супесь	13,88	2,68	1,63	34,82	12,90	0,37	47,72	4,89	7,16	509±7	2,63	0,50	0,09	
Литостраты	Сн-3-13	TCH	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	28,51	10,81	8,27	н.о.	0,90	1,01	0,18	
	Сн-10-13	TCH	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	49,20	4,45	8,44	н.о.	0,87	0,38	0,09	
	Сн-11-13	TCH1	суглинок тяж.	49,43	23,91	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	110,47	11,18	8,18	н.о.	0,52	0,00	0,06
		TCH2	суглинок легк.	22,56	15,09	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	34,41	3,46	8,31	н.о.	0,44	0,36	0,05
	Сн-13-13	TCH	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	58,06	9,00	8,24	н.о.	0,26	0,00	0,08	
	Сн-106-13	TCH	супесь	17,39	10,70	1,72	31,40	2,16	0,07	63,20	5,05	7,46	473±3	0,13	0,52	0,11	
	Сн-111-13	TCH	н.о.	н.о.	н.о.	1,54	38,55	19,89	0,51	24,23	17,15	7,75	481±6	0,12	0,37	0,07	
Сн-112-13	TCH	н.о.	н.о.	н.о.	1,50	39,90	32,01	0,80	8,14	4,57	8,09	486±3	1,15	0,35	0,06		
Литостраты глееватые	Сн-101-13	TCH1	песок связан.	9,41	2,00	1,72	31,29	4,08	0,13	42,38	1,48	8,22	327±5	1,20	0,79	0,12	
		TCH2g	суглинок легк.	22,35	14,12	1,77	30,91	1,81	0,06	70,21	3,57	7,83	275±28	0,62	0,36	0,14	
	Сн-103-13	TCH1	н.о.	н.о.	н.о.	1,63	34,69	15,39	0,44	31,88	6,09	7,03	405±4	0,24	0,52	0,03	
TCH2g		н.о.	н.о.	н.о.	1,69	32,49	5,60	0,17	34,31	1,88	6,05	391±7	0,38	0,34	0,18		

ПРИЛОЖЕНИЕ IV (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Органолистраты	Сп-109-13	TCH1s	суглинок легк.	24,67	10,58	1,27	49,22	10,15	0,21	82,26	8,67	7,36	464±3	3,16	1,01	0,27
		RATs	суглинок легк.	28,91	12,35	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	192,20	5,70	7,01	459±3	5,52	0,52	0,20
		погр. TCH2	суглинок легк.	21,20	9,75	1,76	30,07	0,96	0,03	63,84	6,00	8,37	450±2	0,73	1,03	0,13
	Сп-110-13	TCH1	суглинок легк.	22,75	12,83	1,61	35,40	8,61	0,24	65,85	6,47	6,80	478±2	1,98	0,36	0,15
		TCH2s	супесь	15,88	9,20	1,04	58,23	9,23	0,16	70,07	5,78	7,16	489±3	3,40	2,03	0,20
	Сп-113-13	TCH1	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	14,30	н.о.	443±6	н.о.	н.о.	0,14
		TCH2	н.о.	н.о.	н.о.	2,11	34,25	18,72	0,54	94,03	5,11	8,15	446±6	0,81	0,36	0,12
	Сп-114-13	TCH	н.о.	н.о.	н.о.	2,24	27,60	17,01	0,62	52,25	25,71	8,70	493±8	1,15	0,47	0,07

ПРИЛОЖЕНИЕ V. Некоторые физические и химические свойства почв участка IV

Почвы	№ разреза	Горизонт	Результаты анализа гран. состава	Физ. глина, %	Ил, %	Плотность, г/см ³	Порозность, %	Воздухо-емкость (Пор. аэрации), %	Паэр/Пощ	Удел. пов-ть, м ² /г	Абиотическое поглощение, мг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	pH	ОВП, мВ (n=10)	С орг, %	Карбонаты, %	ЛРС, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Аллюв. перегнойно-глиевые	П-217-12	H	суглинок легк.	20,65	7,83	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	321,8	30,6	6,63	н.о.	5,00	н.о.	н.о.
		G	супесь	15,92	6,87	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	26,6	7,45	н.о.	1,34	н.о.	н.о.
		CG	песок связан.	9,27	6,80	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	35,0	20,0	7,70	н.о.	0,51	н.о.	н.о.
Аллювиальные серогумусовые	П-9-06	AУ	супесь	15,67	4,61	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	182,5	18,9	5,74	н.о.	1,93	н.о.	н.о.
	П-10-06	AУ	супесь	18,19	6,39	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	124,8	13,9	6,99	н.о.	1,76	н.о.	н.о.
	П-14-06	AУ	супесь	16,59	6,87	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	109,9	20,5	7,31	н.о.	1,09	н.о.	н.о.
	П-16-06	AУ	супесь	17,11	6,80	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	134,0	12,2	7,13	н.о.	2,58	н.о.	н.о.
Дерново-подзолистые	П-218-12	AУ	супесь	11,14	6,04	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	150,8	3,5	7,20	н.о.	1,76	н.о.	н.о.
		AEL	суглинок легк.	25,88	5,38	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	128,3	37,4	7,46	н.о.	1,85	н.о.	н.о.
		EL	суглинок легк.	25,61	4,39	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	61,9	30,7	7,29	н.о.	0,07	н.о.	н.о.
		BT	суглинок легк.	20,94	6,26	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,6	5,4	7,00	н.о.	0,12	н.о.	н.о.

ПРИЛОЖЕНИЕ V (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Литостраты	<i>П-102-11</i>	TCH	супесь	18,28	6,26	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	106,81	32,1	7,95	н.о.	1,54	н.о.	н.о.
	<i>П-110-11</i>	TCH	супесь	16,74	6,91	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	136,0	36,3	7,78	н.о.	2,33	н.о.	н.о.
	<i>П-112-11</i>	TCH	супесь	14,84	7,40	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	91,3	17,3	7,96	н.о.	0,77	н.о.	н.о.
	<i>П-114-11</i>	TCH	песок связан.	6,47	2,12	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	33,8	49,4	8,04	н.о.	0,85	н.о.	н.о.
	<i>П-115-11</i>	TCH	супесь	13,31	4,53	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	80,9	18,8	7,78	н.о.	0,70	н.о.	н.о.
	<i>П-203-12</i>	TCH	песок связан.	9,42	6,26	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	62,5	2,7	8,08	н.о.	0,50	н.о.	н.о.
	<i>П-214-12</i>	TCH	супесь	19,26	5,50	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	120,7	29,3	7,83	н.о.	0,79	н.о.	н.о.
	<i>П-220-12</i>	TCH	песок связан.	7,83	5,54	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	27,0	10,6	6,39	н.о.	0,55	н.о.	н.о.
	<i>П-221-12</i>	TCH	супесь	12,69	7,40	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	63,8	22,9	6,81	н.о.	0,59	н.о.	н.о.
	<i>П-223-12</i>	TCH	песок связан.	9,34	2,12	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	71,1	35,2	7,09	н.о.	1,22	н.о.	н.о.
	<i>П-225-12</i>	TCH	супесь	12,82	9,32	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	25,9	10,8	7,56	н.о.	0,08	н.о.	н.о.
	<i>П-226-12</i>	TCH	супесь	19,90	8,01	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	143,0	30,9	7,12	н.о.	0,45	н.о.	н.о.
	<i>П-227-12</i>	TCH	суглинок легк.	23,33	3,50	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	213,1	13,7	7,11	н.о.	1,21	н.о.	н.о.
	<i>П-230-12</i>	TCH	суглинок средн.	34,62	21,58	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	138,0	12,6	7,52	н.о.	1,99	н.о.	н.о.
	<i>П-231-12</i>	TCH	супесь	11,56	8,38	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	64,7	56,9	7,19	н.о.	1,28	н.о.	н.о.
	<i>П-232-12</i>	TCH	супесь	18,08	5,42	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	154,9	18,3	7,26	н.о.	0,82	н.о.	н.о.
	<i>П-233-12</i>	TCH	супесь	10,04	4,61	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	91,8	27,4	7,70	н.о.	1,30	н.о.	н.о.
	<i>П-234-12</i>	TCH	супесь	13,27	6,39	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	33,1	31,4	7,75	н.о.	1,04	н.о.	н.о.
	<i>П-308-12</i>	TCH	суглинок легк.	29,60	15,18	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	129,5	22,0	8,09	н.о.	0,26	0,00	н.о.
	<i>П-310-12</i>	TCH1	песок связан.	7,54	4,69	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	26,0	2,0	7,76	н.о.	0,56	0,00	н.о.
TCH2		песок рыхлый	3,27	2,72	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	36,8	30,7	8,19	н.о.	0,13	0,00	н.о.	
<i>П-409-12</i>	TCH	супесь	17,16	9,19	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	79,2	1,1	8,24	н.о.	0,51	0,71	н.о.	
<i>П-410-12</i>	TCH	суглинок средн.	33,59	17,90	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	143,7	11,4	8,02	н.о.	0,17	0,36	н.о.	
<i>П-510-13</i>	TCH1	супесь	18,39	8,40	н.о.	33,63	14,50	0,43	21,7	7,5	7,68	482±3	0,46	н.о.	н.о.	
	TCH2	суглинок легк.	29,95	17,51	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	52,2	5,1	8,66	452±2	1,69	н.о.	н.о.	
Литостраты глеватые и глеевые	<i>П-8-06</i>	TCH	супесь	15,79	5,42	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	128,8	6,3	6,95	н.о.	1,03	н.о.	н.о.
	<i>П-12-06</i>	TCHg	суглинок легк.	20,45	7,83	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	82,3	13,4	7,27	н.о.	0,99	н.о.	н.о.
	<i>П-113-11</i>	TCHg	супесь	14,61	6,80	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	82,2	11,2	7,77	н.о.	0,84	н.о.	н.о.
	<i>П-205-12</i>	TCH1	супесь	17,00	5,50	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	115,1	25,6	7,98	н.о.	0,46	н.о.	н.о.
		TCH2g	супесь	18,78	8,53	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	126,5	45,6	8,46	н.о.	1,71	н.о.	н.о.
<i>П-210-12</i>	TCHg	супесь	14,65	8,53	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	51,2	8,9	8,16	н.о.	1,49	н.о.	н.о.	

ПРИЛОЖЕНИЕ V (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Литоstrаты глеватые и глевые	П-211-12	TCH1	супесь	16,04	6,44	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	84,7	2,5	8,02	н.о.	0,78	н.о.	н.о.
		TCH2	суглинок легк.	23,83	6,08	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	119,3	11,0	8,40	н.о.	0,78	н.о.	н.о.
		TCH3g	суглинок легк.	25,76	8,62	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	81,0	24,5	8,23	н.о.	0,78	н.о.	н.о.
	П-215-12	TCHg	суглинок легк.	22,23	8,58	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	80,4	21,1	8,41	н.о.	0,89	н.о.	н.о.
	П-216-12	TCH1	песок связан.	7,13	3,47	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	16,5	8,0	7,94	н.о.	0,33	н.о.	н.о.
TCH2g		супесь	16,14	6,91	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	49,2	1,9	7,65	н.о.	0,33	н.о.	н.о.	
П-511-13	TCH1	супесь	19,59	9,23	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	36,1	5,4	8,42	472±8	2,20	н.о.	н.о.	
	TCH2g	суглинок легк.	22,11	12,08	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	23,5	8,5	7,92	434±2	0,62	н.о.	н.о.	
Органолистоstrаты	П-104-11	TCH	суглинок легк.	20,00	8,53	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	132,6	24,2	7,79	н.о.	2,12	н.о.	н.о.
	П-106-11	TCH	супесь	18,96	7,15	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	111,2	10,5	7,9	н.о.	2,34	н.о.	н.о.
	П-111-11	TCH	супесь	17,92	5,54	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	127,1	17,8	7,71	н.о.	4,11	н.о.	н.о.
	П-201-12	TCH	суглинок легк.	21,72	6,04	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	85,8	44,4	7,79	н.о.	2,04	н.о.	н.о.
	П-204-12	TCH	песок связан.	7,73	5,38	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	80,0	28,7	8,00	н.о.	1,33	н.о.	н.о.
	П-209-12	TCH	супесь	13,90	3,47	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	84,0	44,5	8,06	н.о.	2,50	н.о.	н.о.
	П-219-12	TCH	песок связан.	9,59	6,91	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	16,4	9,1	6,23	н.о.	1,42	н.о.	н.о.
	П-228-12	TCH	суглинок легк.	21,03	6,12	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	190,3	24,9	7,08	н.о.	1,20	н.о.	н.о.
П-229-12	TCH	суглинок средн.	36,30	24,46	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	139,9	35,2	7,46	н.о.	0,82	н.о.	н.о.	
Органолистоstrаты глеватые	П-103-11	TCHg	супесь	15,58	5,38	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	81,0	56,7	8,2	н.о.	2,05	н.о.	н.о.
	П-105-11	TCHg	супесь	15,40	5,50	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	74,6	33,0	8,04	н.о.	2,22	н.о.	н.о.
	П-202-12	TCHg	супесь	18,04	4,39	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	109,1	19,3	7,08	н.о.	1,29	н.о.	н.о.
	П-206-12	TCHg	супесь	16,99	7,15	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	93,1	37,1	7,39	н.о.	1,06	н.о.	н.о.
	П-207-12	TCHg	суглинок легк.	26,29	4,96	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	117,0	29,2	7,65	н.о.	0,92	н.о.	н.о.
	П-208-12	TCHg	супесь	18,43	8,58	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	29,7	51,4	7,62	н.о.	0,61	н.о.	н.о.
	П-212-12	TCHg	суглинок легк.	20,00	7,15	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	65,2	44,6	8,05	н.о.	1,70	н.о.	н.о.
	П-213-12	TCHg	супесь	16,20	4,96	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	84,0	12,8	7,95	н.о.	1,61	н.о.	н.о.
П-224-12	TCHg	супесь	18,97	4,53	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	145,3	37,4	6,89	н.о.	0,59	н.о.	н.о.	
Артурбистр.	П-222-12	TCHg	супесь	13,89	6,80	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	92,1	9,1	6,58	н.о.	0,72	н.о.	н.о.
Пелозем ы	П-1-06	W	суглинок легк.	20,94	8,38	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	137,7	8,4	6,91	н.о.	2,21	н.о.	н.о.
	П-107-11	W	суглинок легк.	21,68	4,96	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	101,3	40,4	7,91	н.о.	1,76	н.о.	н.о.
	П-108-11	W	суглинок легк.	22,45	8,58	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	134,2	10,0	7,78	н.о.	1,36	н.о.	н.о.
	П-109-11	W	суглинок легк.	20,26	3,47	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	86,3	29,7	7,95	н.о.	1,24	н.о.	н.о.

ПРИЛОЖЕНИЕ V (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Пелоземы	П-313-12	W	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
		TCH1	суглинок легк.	24,33	9,15	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	32,7	2,8	8,49	н.о.	0,21	0,00
		TCH2	супесь	17,50	7,14	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	45,0	17,2	8,25	н.о.	0,37	0,00	н.о.
	П-401-12	W	суглинок легк.	23,55	6,12	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	73,5	42,6	8,08	н.о.	0,28	0,62	н.о.
		TCH	суглинок легк.	20,36	3,58	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	92,6	24,5	8,00	н.о.	0,22	0,43	н.о.
Пелоземы глееватые	П-101-11	Wg	суглинок легк.	20,85	6,04	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	81,30	6,3	7,96	н.о.	1,45	н.о.	н.о.
		TCH	супесь	18,24	4,39	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	55,26	3,0	8,33	н.о.	1,50	н.о.	н.о.
	П-116-11	Wg	суглинок легк.	23,03	9,32	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	126,9	16,3	7,73	н.о.	0,78	н.о.	н.о.
		W	суглинок легк.	20,16	8,01	1,36	45,47	29,06	0,64	120,6	16,2	7,90	477±8	0,80	н.о.	н.о.
П-117-11	TCH1	супесь	12,56	3,50	1,48	40,62	22,90	0,56	95,9	20,2	8,11	471±5	1,06	н.о.	н.о.	
	TCH2	суглинок средн.	35,10	6,12	1,51	39,75	22,98	0,57	128,5	27,4	7,83	475±2	1,05	н.о.	н.о.	
	TCH3g	глина легкая	57,63	24,46	1,49	40,53	21,16	0,52	349,3	44,2	7,65	454±4	1,67	н.о.	н.о.	
	TCH4g	глина легкая	50,16	21,58	1,12	55,19	29,35	0,53	394,9	52,8	7,60	447±7	1,76	н.о.	н.о.	
Серогум. техногенная	П-305-12	AУг	супесь	18,21	9,06	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	92,0	51,1	7,94	н.о.	2,59	0,58	н.о.
		TCH1	супесь	17,50	7,98	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	79,2	35,8	7,86	н.о.	0,77	0,85	н.о.
		TCH2	песок связан.	7,95	4,99	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	33,8	21,7	8,29	н.о.	0,63	0,00	н.о.
Реплантоземы	П-403-12	RAT	суглинок легк.	22,02	5,14	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	247,3	6,9	7,69	н.о.	6,34	1,25	н.о.
		TCH	суглинок легк.	21,04	9,43	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	51,9	5,1	8,46	н.о.	0,43	0,00	н.о.
	П-404-12	RAT	суглинок легк.	24,75	10,40	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	839,7	3,9	7,78	н.о.	5,57	2,30	н.о.
		TCH	суглинок легк.	27,68	14,34	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	181,3	33,0	8,07	н.о.	0,74	0,43	н.о.
	П-405-12	RAT	суглинок легк.	23,31	5,41	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	481,3	19,3	7,68	н.о.	6,02	5,74	н.о.
		TCH	супесь	16,16	8,75	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	132,5	11,6	7,79	н.о.	0,17	0,59	н.о.
	П-406-12	RAT	супесь	19,69	6,80	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	221,4	39,7	7,88	н.о.	4,87	5,89	н.о.
		TCH	суглинок легк.	21,68	10,53	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,5	68,3	7,89	н.о.	0,86	2,41	н.о.
П-407-12	RAT	суглинок легк.	24,90	6,99	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	184,2	47,9	7,78	н.о.	4,36	5,35	н.о.	
	TCH1	песок рыхлый	4,79	3,73	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	17,0	27,4	8,15	н.о.	0,43	0,00	н.о.	
	TCH2	суглинок легк.	20,54	10,53	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	71,7	29,7	7,74	н.о.	0,09	0,60	н.о.	
П-408-12	RAT	супесь	19,91	8,90	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,2	36,7	8,07	н.о.	4,27	0,62	н.о.	
	TCH1	песок связан.	7,34	5,02	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	24,4	26,1	8,01	н.о.	0,12	0,89	н.о.	
П-503-13	RAT	суглинок легк.	26,12	11,36	0,74	70,45	34,07	0,48	63,1	6,4	7,83	444±5	3,07	н.о.	н.о.	
	TCH	глина легкая	54,16	29,28	1,34	46,22	14,42	0,28	101,1	11,5	7,05	489±5	0,97	н.о.	н.о.	
П-505-13	RAT	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	178,5	7,8	7,92	585±17	7,81	н.о.	н.о.	
	TCH1	супесь	11,21	8,79	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	22,4	4,1	7,53	653±6	0,24	н.о.	н.о.	
	TCH2	суглинок легк.	29,03	13,51	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	57,3	5,5	8,33	596±8	0,67	н.о.	н.о.	

ПРИЛОЖЕНИЕ V (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Рекреаземы	П-402-12	RAT1	суглинок легк.	20,08	5,58	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	94,7	20,8	7,23	н.о.	2,37	0,00	н.о.
		RAT2	суглинок легк.	20,50	6,76	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	55,3	48,3	7,63	н.о.	1,86	0,58	н.о.
		TCH1	суглинок средн.	33,15	11,10	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	152,0	10,0	7,88	н.о.	0,13	0,00	н.о.
		TCH2	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
		TCH3	суглинок легк.	21,16	8,26	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,8	29,5	7,86	н.о.	0,39	0,00	н.о.
		TCH4	супесь	10,02	3,15	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	45,3	8,1	7,98	н.о.	0,26	0,00	н.о.

ПРИЛОЖЕНИЕ VI. Некоторые физические и химические свойства почв участка V

Почвы	№ разреза	Горизонт	Результаты анализа гран. состава	Физ. глина, %	Ил, %	Плотность, г/см ³	Порозность, %	Воздухо-емкость (Пор. аэрации), %	Паэр/Пошц	Удел. пов-ть, м ² /г	Абиотическое поглощение, мг-г ⁻¹ , ч ⁻¹	pH	ОВЦ, мВ (n=10)	C орг, %	Карбонаты, %	ЛРС, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Аллюв. перегнойно-глиевая	Зар-3-12	Н	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	129,80	8,76	7,21	н.о.	3,99	0,00	н.о.
	Зар-19-12	Н	суглинок тяж.	43,16	15,87	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	117,70	4,59	7,65	н.о.	2,42	0,00	н.о.
	Зар-23-12	Н	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	231,01	22,12	6,73	н.о.	3,92	0,00	н.о.
Аллювиальная серогумусовая	Зар-11-12	Ad	суглинок средн.	31,23	8,48	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	80,11	1,59	6,57	н.о.	2,60	0,00	н.о.
		Ay	суглинок тяж.	47,08	22,44	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	109,08	4,30	6,68	н.о.	2,07	0,00	н.о.
		Cg	суглинок тяж.	48,12	22,31	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	120,68	3,65	6,17	н.о.	4,99	0,00	н.о.
	Зар-21-12	Ay	суглинок тяж.	45,64	16,11	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	146,39	3,84	6,88	н.о.	5,43	0,00	н.о.
Зар-25-12	Ay	суглинок средн.	34,59	11,56	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	120,89	3,85	5,90	н.о.	2,11	0,00	н.о.	
Лито-страты	Зар-1-12	TCH	суглинок легк.	25,12	9,36	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	61,88	6,31	7,28	н.о.	1,09	0,00	н.о.
	Зар-5-12	TCH	супесь	16,50	7,25	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	118,10	2,71	7,70	н.о.	0,22	0,00	н.о.