

УДК 574.42

## АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БОТАНИЧЕСКИХ САДАХ (НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

*А.В. Раппопорт, Л.В. Лысак, О.Е. Марфенина, А.А. Рахлеева, М.Н. Строганова,  
В.А. Терехова, Н.В. Митрофанова*

Проведен анализ свойств почв ряда ботанических садов Москвы и Санкт-Петербурга. Сочетание природоохранного режима, регулярного проведения агротехнических мероприятий, постоянного привноса почвенной фауны и микроорганизмов на корнях растений и с грунтами, длительное (на протяжении десятилетий и даже столетий) антропогенное (урбаногенное) воздействие, приводит к формированию почв, отличающихся как от природных, так и от почв городских озелененных территорий. Исследования морфологических, химических свойств, состава и численности почвенной мезофауны, микробиологической активности указывают на особые пути почвообразования в ботанических садах. Для почв ботанических садов характерно особое строение почвенного профиля, повышенное содержание основных элементов минерального питания, высокие значения численности и биомассы почвенной мезофауны, более глубокое распространение бактерий по почвенному профилю, присутствие мезофауны и микроорганизмов, типичных как для зональных ненарушенных почв, так и для привнесенных. Предложено рассматривать городские ботанические сады как уникальные искусственно созданные экосистемы, где отчасти компенсируется негативное воздействие городской среды и формируется высокий уровень биоразнообразия. Обсуждается возможность использования биоценозов почв и водоемов ботанических садов в качестве источников тест-культур для экотоксикологических исследований.

**Ключевые слова:** ботанический сад, городские почвы, рекреазем, культурозем, сохранение биоразнообразия, рекультивация почв, почвенные микробиоты, почвенная мезофауна.

*Мы посвящаем эту статью нашему  
Учителю – академику Г.В. Добровольскому*

### Введение

Ботанические сады впервые появились в Европе в XIV в. В России первые ботанические сады были заложены в XVII в., так что новыми объектами их трудно назвать. Но даже хорошо изученный объект бывает полезно рассмотреть под другим углом зрения. В настоящее время ботанические сады можно рассматривать как:

1) собрание ботанических редкостей для научной, образовательной и просветительской деятельности (с точки зрения биологов и многих обывателей);

2) особо охраняемые природные территории (с градостроительной точки зрения);

3) учреждения дополнительного экологического образования (одно из наиболее быстроразвивающихся направлений работы ботанических садов Западной Европы);

4) рекреационные территории (с точки зрения жителей прилегающих территорий).

Мы предлагаем, не отрицая вышеперечисленных подходов, рассмотреть городские ботанические сады как уникальные искусственные экосистемы, в которых благодаря постоянному вложению ресурсов удается компенсировать негативное воздействие городской среды на все (или почти все?) компоненты экосистемы и создать (часто произвольно) удивительно высокий уровень биоразнообразия. Это касается не только растений, которые завозятся со всего мира, но и почв, почвенной фауны, микроорганизмов, орнитофауны, энтомофауны. Очевидно, что в экосистеме ботанического сада возникают новые внутренние связи. Например, хороший уход и расширение коллекции флоксов (*Phlox L.*) в Ботаническом саду

МГУ привели к появлению подмаренных бражников (*Hyles galii*), а на растениях семейства зонтичные (сем. Umbelliferae) питаются гусеницы махаона (*Papilio machaon* L.) (оба вида насекомых занесены в Красную книгу Москвы). Это только отдельные примеры и, к сожалению, мы еще очень многого не знаем в этом направлении.

В начале 2000-х годов было проведено исследование почв и почвенной биоты на обеих территориях Ботанического сада МГУ. Было установлено, что почвы Ботанического сада отличаются от других почв в городе, в том числе и от почв в городских парках. Изученные почвы отличаются также от природных почв Подмосковья. Эти отличия проявляются в строении почвенного профиля, агрохимических свойствах и составе почвенной биоты (Горячкина и др., 2003; Строганова, Раппопорт, 2005). Стало очевидно, что высокую ценность в Ботаническом саду имеют не только коллекции растений, но и почвы, которые характеризуются высоким уровнем плодородия, относительно низким уровнем загрязнения и являются рефугиумом для целого ряда живых организмов. Позже, при исследованиях, проводимых в Ботаническом саду Ботанического института РАН имени В.Л. Комарова в Санкт-Петербурге, эти выводы также нашли подтверждение.

Проведенные работы позволяют считать, что почвы ботанических садов являются результатом совместного действия зонально-климатических факторов почвообразования, средообразующего антропогенного фактора, характерного для городских территорий, и специфических факторов, связанных с функционированием садов, которые можно отнести к рекультивационным. Степень воздействия этих трех групп факторов меняется в зависимости от расположения и возраста сада, назначения конкретного участка и продолжительности антропогенного воздействия. Различное сочетание факторов почвообразования с одной стороны обуславливает все многообразие почвенных свойств в городских ботанических садах, а с другой – позволяет оценить влияние тех или иных факторов на почвенные свойства.

### Объекты и методы исследований

Исследования строения и свойств почв, а также состава и структуры почвенной биоты проводились на территории трех ботанических садов в Москве и одного сада в Санкт-Петербурге. В Москве в программу исследований были включены: основная

территория Ботанического сада МГУ на Воробьевых горах (далее – БС МГУ), созданного в 1950 г., где было заложено 18 разрезов; филиал на проспекте Мира (филиал БС МГУ), основанный в 1706 г. (9 разрезов); территория Главного Ботанического сада РАН имени Н.В. Цицина (ГБС РАН), основанного в 1945 г. (1 разрез). В Санкт-Петербурге исследования проводили на территории сада Ботанического Института РАН имени В.Л. Комарова (БИН РАН), основанного в 1714 г., на его территории заложены 4 разреза. История этих ботанических садов, основные климатические и геоморфологические характеристики их территорий, привязка почвенных разрезов и их описание приведены в работе А.В. Раппопорта (2004).

Мы изучали морфологические и агрохимические свойства почв. С этой целью определяли:  $pH_{\text{водн}}$ , содержание  $C_{\text{орг}}$  (по методу Тюрина с фотометрическим определением концентрации углерода), содержание подвижных форм фосфора (по методу Кирсанова) и калия (ЕКО), валовое содержание Pb, Zn, Cu (в вытяжке «царской водки»  $HNO_3:HCl = 3:1$  на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Hitachi 180-80»). Были изучены также и физические (гранулометрический состав) свойства почв (Аринушкина, 1970, Вадюнина, Корчагина, 1986, (Практикум..., 2001).

Проводился послойно учет мезофауны методом ручной разборки проб  $1/16 \text{ м}^2$  для слоев 0–10, 10–20, 20–30, 30–40 см в 4-кратной повторности. И.Н. Скворцовой проведен учет численности липомицетов (на среде Эшби).

В образцах почв, отобранных на территории БС МГУ и его филиала, определялись следующие показатели биологической активности почв: общая численность бактерий (окраска препаратов акридином оранжевым), длина грибного мицелия (окраска калькофлуором белым), активность некоторых почвенных ферментов (каталазы, дегидрогеназы, инвертазы). В верхнем горизонте почв под березняком и ельником в дендрарии на основной территории БС МГУ было проведено определение состава культивируемых на питательных средах микроскопических грибов (Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1991).

Представленные в статье результаты собирались в течение ряда лет. С 2000 по 2010 г. на факультете почвоведения МГУ на основе материала, собранного в ботанических садах Москвы и Санкт-Петербурга были защищены шесть дипломных ра-

бот, две кандидатские и одна докторская диссертации (список приведен в приложении).

**Результаты почвенно-экологических исследований в ботанических садах**

**Строение профиля антропогенных почв ботанических садов**

Проведенные исследования позволили выявить основные закономерности в строении почвенного профиля антропогенно измененных и искусственно созданных (антропогенных) почв ботанических садов. Профиль этих почв можно разделить на три части: поверхностный органо-минеральный слой, средняя наиболее трансформированная под урбано-генным воздействием и нижняя части профиля (табл. 1). Различное сочетание горизонтов этих частей и их мощности формирует все многообразие почв ботанических садов.

Поверхностный слой характеризует современное состояние территории и связан в большей степени с рекультивационными факторами (технологией создания, режимом ухода за зелеными насаждениями, происхождением и свойствами завозимых грунтов). В зависимости от состава органического вещества, наличия или отсутствия антропогенных включений поверхностный почвенный слой в ботанических садах может быть представлен гумусовым горизонтом (A), гумусовым горизонтом с признаками урбопедогенеза (Au), урбиковым горизонтом (U)<sup>1</sup>. На территории ботанических садов также широко распространены насыпные перемешанные органо-минеральные (RAT) и торфосодержащие (RT) горизонты, впервые описан-

ные в работах А.В. Раппопорта (2004) и М.Н. Строгановой, А.В. Раппопорта (2005). Однако в целом в ботанических садах можно отметить значительно меньший уровень захламления почвенной поверхности и верхних почвенных горизонтов по сравнению с селитебными районами, следствием чего является лишь эпизодическое распространение урбикового горизонта, как правило, вблизи хозяйственных построек и на хозяйственных дворах.

Характерная особенность изученных почв – значительное увеличение мощности гумусового профиля, что происходит главным образом за счет подсыпки почвенного материала и в значительно меньшей степени за счет углубления гумусового горизонта при перекопке. Мощность гумусового профиля в филиале Ботанического сада МГУ составляет до 120 см, а в Ботаническом саду БИН РАН – до 65 см. Учитывая площадь филиала БС МГУ (около 6 га) и среднюю мощность насыпанных гумусовых горизонтов (80 см), можно подсчитать, что объем завезенного за последние 300 лет на эту территорию грунта составляет около 50 000 м<sup>3</sup>.

Для поверхностных горизонтов характерна хорошая комковато-зернистая структура, что скорее всего связано со значительной численностью мезофауны (см. ниже). Наличие такой структуры является важной отличительной чертой почв ботанических садов от большинства городских почв, которые вследствие сильного переуплотнения поверхности имеют нарушенный растительный покров и характеризуются низкой численностью мезофауны и непрочной комковатоглыбистой структурой (Почва, город, экология, 1997).

Т а б л и ц а 1

**Строение антропогенных почв ботанических садов**

Часть профиля	Преобладающий фактор	Характерные горизонты			
		урбиковый горизонт (U)	гумусово-аккумулятивный горизонт (A, Au)	органо-минеральная смесь (RAT)	торфосодержащая смесь (RT)
Верхняя	специфический фактор (рекультивация)				
Средняя	антропогенный фактор	верхняя и/или средняя часть профиля		минеральный грунт:	
		урбанозем (U, Uh, [Au])		планировочный (техногенный слой)	скальпированная почва (BC), почвообразующая (C), подстилающая (D) порода
Нижняя	зонально-климатические факторы	природная почва (A, EL, ELB, B)	погребенная природная почва [A, EL, ELB, B, BC], техногенный слой, культурный слой		

<sup>1</sup>Почвенный горизонт (насыпной и/или перемешанный), характерный для значительной части территории города и содержащий более 5% антропогенных включений (Герасимова и др., 2003).

Средняя часть профиля отражает основное направление антропогенного воздействия (формирование культурного слоя, техногенное изменение рельефа, химическое загрязнение и др.) на естественные почвы, распространенные на данной территории до формирования поселений и ботанического сада. Средняя часть профиля почвы может быть представлена частью профиля урбанозема или грунтом: насыщенным или денудированным.

Нижняя часть профиля, как правило, определяется зонально-климатическими факторами почвообразования. Она представлена горизонтами естественной почвы, почвообразующей породой и лишь в отдельных случаях насыпными грунтами и культурным слоем.

Характерной особенностью почв ботанических садов является значительная мощность каждого из насыпных слоев (более 15 см), которые относятся к верхней и средней частям профиля, и наличие резких переходов между этими слоями. Это связано с тем, что каждый из слоев формировался одновременно, как правило, при смене экспозиции (вида выращиваемых растений), и последующие обработки почвы не приводили к перемешиванию материала между разными слоями. Число разновозрастных горизонтов и насыпных слоев напрямую зависит от числа смен экспозиций, а значит пропорционально возрасту сада. В филиале БС МГУ разрезами вскрыто 4–6 погребенных горизонтов, в БИН РАН – 2–4, в БС МГУ – 1–2, в ГБС РАН – 1. Мощность сформированного за время существования ботанического сада слоя варьирует в широких пределах: в филиале БС МГУ она составляет 80–120 см и более, в БИН РАН – 60–100 см, в БС МГУ – до 100 см, а местами и более, в ГБС РАН – 10–30 см. Во всех садах этот наносной слой имеет схожий состав и свойства, что и позволяет сравнивать изучаемые почвы по агрохимическим, фаунистическим и микробиологическим показателям. В ботанических садах в 2004 г. впервые выделена и охарактеризована новая таксономическая группа почв – рекреазем (от *recreatio* (lat.), что означает восстановление, выздоровление). К этой группе относятся антропогенные почвы городов с многообразными насыпными органо-минеральными или торфосодержащими (торфо-компостными и торфопесчаными) плодородными субстратами, обладающими благоприятными для растений физико-механическими и химическими свойствами (Строганова, Раппопорт, 2005). Мощность гумусового горизонта или серии гумусовых горизонтов в описанных почвах колеблется от 10 до 122 см. В случае, если общая мощность одного или серии гумусовых горизонтов

достигает более 40 см, то почвы называются культуросемами. Такие почвы были встречены нами в филиале Ботанического сада МГУ и в Ботаническом саду БИН РАН.

В условиях ботанических садов некоторые участки (например, цветники) ежегодно перекапываются. Это приводит к формированию специфического поверхностного горизонта, где нет дернины и подстилки, низкая плотность сложения, высокая однородность внутри горизонта, а мощность, как правило, не менее 15–20 см. Для определения таких почв вводится приставка «агро» (например, агрокреаземы).

В малонарушенных ландшафтах (например, на части территории ГБС РАН) встречаются почвы, в которых антропогенное воздействие было незначительным – на глубину менее 50 см. Такие почвы сочетают горизонт «урбик» мощностью менее 50 см с ненарушенной срединной и нижней частями профиля. Эти почвы сохраняют типовое название с добавлением «урбо», например, урбодерново-подзолистые почвы.

#### *Агрохимические свойства почв ботанических садов*

Проведенные исследования определили несвойственный для других почв (естественных и антропогенных) характер распределения pH в почвах ботанических садов. В поверхностных слоях ранее исследованных урбаноземов газонов, скверов, бульваров и селитебных участков наиболее щелочными были поверхностные антропогенные горизонты ( $pH_{\text{водн}}$  7,3–8,9). Вниз по профилю в большинстве случаев значения pH снижались до 6,5 и ниже (Почва, город, экология, 1997). В ботанических садах верхние горизонты глубоко преобразованных гумусированных почв имеют нейтральную реакцию, в то время как средняя часть профиля – слабощелочную, к низу профиля значения pH понижаются до 6,0–6,4. Наблюдается также прямо пропорциональная зависимость глубины максимума значений pH от продолжительности окультуривания (рис. 1).

По содержанию основных элементов питания растений гумусовые горизонты всех исследованных почв близки между собой, для них характерна повышенная обеспеченность подвижными формами фосфора (10–28 мг/100 г). Это больше, чем в лесных дерново-подзолистых почвах (5–10 мг/100 г), но меньше, чем в некоторых урбаноземах Москвы – до 190 мг/100 г (Строганова и др., 2008) и до 250 мг/100 г (Агаркова, 1990), а также в сильно окультуренных дерново-подзолистых почвах (до 60 мг/100 г). Содержание доступного калия (10–40 мг/100 г) примерно в 2 раза выше, чем в

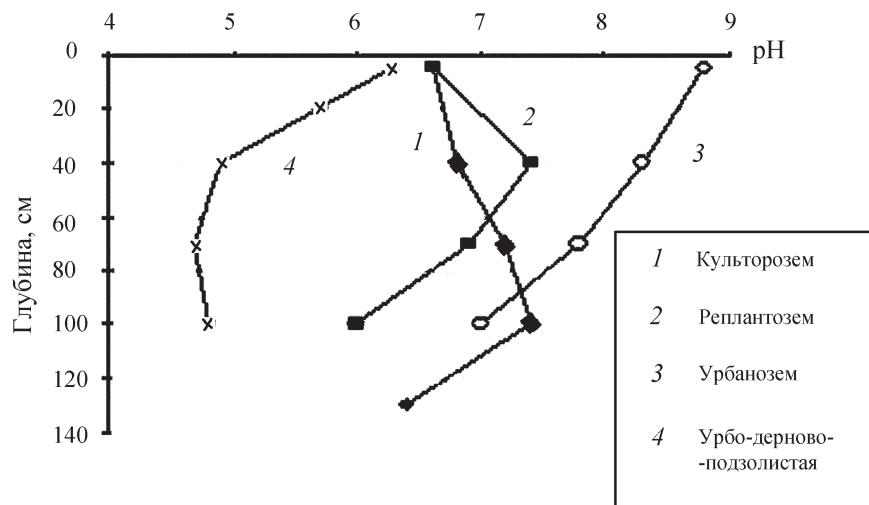


Рис. 1. Распределение pH по профилю почв ботанических садов

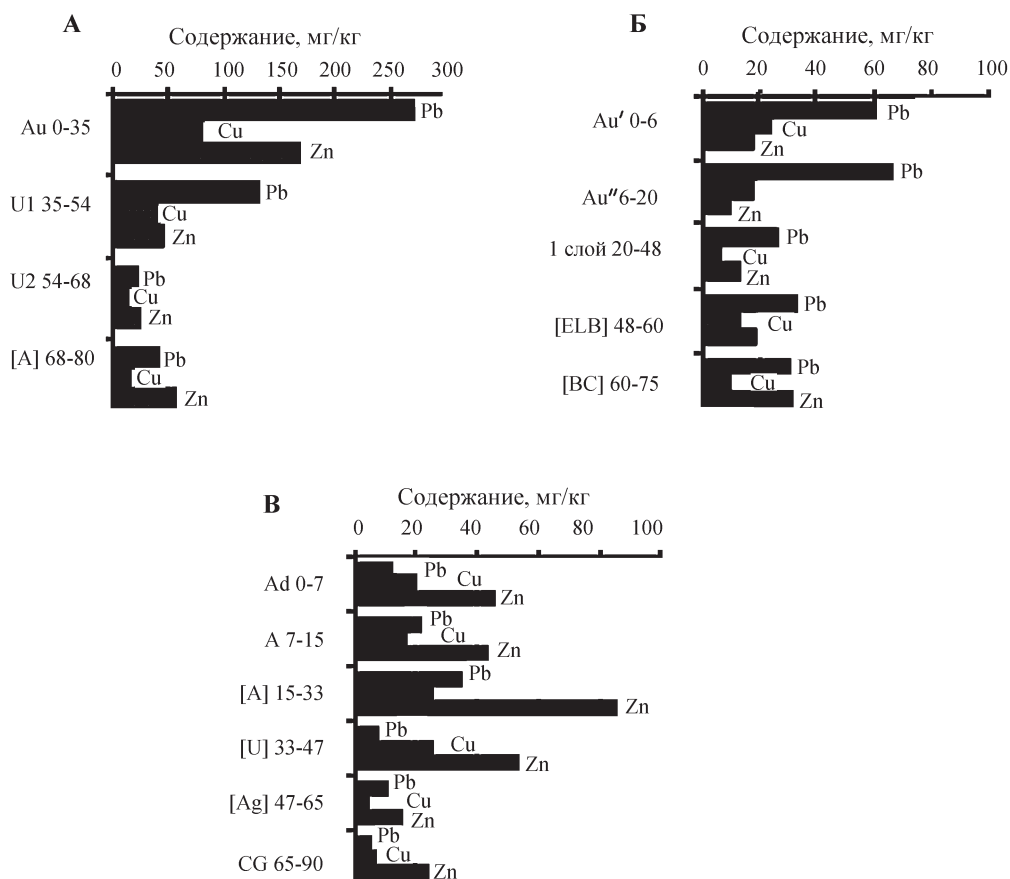


Рис. 2. Распределение валового содержания ТМ по почвенному профилю ботанических садов: А – филиал БС МГУ (агрорекреазем); Б – БС МГУ (реплантозем); В – БИН РАН (рекреазем)