

## ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.4:504.5(1-21)

### ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ (НА ПРИМЕРЕ г. МОСКВЫ)

© 2021 г. О. В. Семенюк<sup>а</sup>, \*, Г. В. Стома<sup>а</sup>, К. С. Бодров<sup>а</sup>

<sup>а</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

\*e-mail: olgatour@rambler.ru

Поступила в редакцию 16.03.2021 г.

После доработки 06.07.2021 г.

Принята к публикации 07.07.2021 г.

На примере г. Москвы с учетом функционального использования территории, взаимосвязи экосистемных сервисов с экологическими функциями и свойствами отдельных компонентов ландшафта впервые определена стоимость парково-рекреационных, селитебных и селитебно-транспортных городских ландшафтов. На основе ранее предложенной авторами методики оценен широкий спектр экосистемных услуг ландшафтов, в основном ассоциированных с почвами и их экологическим состоянием. На урбанизированной территории стоимость экосистемных сервисов, осуществляемых почвой, в 20–30 раз больше по сравнению с зелеными насаждениями, а некоторые почвенные услуги можно считать бесценными в связи со сложностью возобновления данного природного ресурса. Стоимость экосистемных услуг ненарушенных почв парково-рекреационных ландшафтов в 1.5–2 раза превышает таковую антропогенно-преобразованных почв селитебных и селитебно-транспортных. Основной вклад вносят сервисы: “депонирование углерода”, “сохранение генетического материала биоты”, “фильтрации и аккумуляции химических элементов в экосистеме”, которые можно рассматривать как перспективные при монетизации экосистемных услуг городских ландшафтов. Снижение стоимости экосистемных услуг от парково-рекреационных ландшафтов к селитебным и селитебно-транспортным в значительной мере определяется ухудшением экологического состояния почв. Выгоды, предоставляемые природным блоком ландшафтов, сопоставимы или имеют большую ценность по сравнению с культурными. По отношению к общероссийской оценке особенностью городской территории является значительное долевое участие в стоимости экосистемных услуг блока культурных (в среднем 25%) и снижение регулирующих (на 30%). Результаты экономической оценки экосистемных услуг городских ландшафтов свидетельствуют о недооценке природных составляющих, весомом вкладе почвы в природный блок, необходимости поиска упрощенных интегральных показателей ее состояния, наличии проблем стоимостного расчета. Методические подходы и полученные оценочные результаты могут быть использованы в практической градостроительной деятельности, способствовать сохранению почвенного покрова и оптимизации функционирования городских ландшафтов.

*Ключевые слова:* экосистемные сервисы, функции городских ландшафтов, экологическое состояние почв, Albic Retisols, Albic Luvisols, Urbic Technosols

DOI: 10.31857/S0032180X21120108

#### ВВЕДЕНИЕ

Реализация идеи устойчивого развития общества и биосферы предполагает регулирование деятельности человека с помощью экономических механизмов, одним из которых является стоимостная оценка природных ресурсов и экосистемных услуг [23, 34, 43, 45]. Анализ оценки стоимости той или иной экосистемы представляет собой не только важную прикладную задачу, но и позволяет решить многие фундаментальные научные проблемы.

Экосистемные услуги (сервисы) (ЭУ) – это экономические выгоды для потребителей, базирующиеся на обеспечении природой различного ро-

да функций. Концепция ЭУ была сформулирована в конце 1990-х гг. с целью придать экономическое звучание традиционным проблемам охраны природы, экологической безопасности, экологическим функциям природных и природно-техногенных экосистем и базируется на концепции природного потенциала [4, 39–41, 47].

В настоящее время существует несколько классификаций ЭУ. Принципиально они схожи, но построены на некотором компромиссе двух основных подходов: первый исходит из тех благ, которые получает от природы человек, а второй базируется на характеристиках природных систем и их функций [40]. ЭУ разделяются на 3 группы: обеспечи-

вающие, регулирующие, культурные. Иногда выделяется поддерживающая группа, включающая такие услуги, как почвообразование, биологический круговорот элементов, фотосинтез. Эта категория непосредственно не оценивается, а рассматривается как необходимое условие производства всех остальных услуг. Особое внимание в ней уделяется биоразнообразию, как характеристике экосистем, которая влияет практически на все ЭУ [39–41, 47].

Отсутствие в настоящее время единой, устоявшейся методологии и подхода к оценке ЭУ приводит к результатам, отличающимся по некоторым услугам в десятки раз. При определении экосистемных сервисов территорий одинакового хозяйственного назначения могут учитываться разные параметры экосистем [4]. В ряде работ внимание акцентируется на оценке биоразнообразия, однако механизм расчета стоимости не предлагается. Показано, что корреляции между индикаторами видового богатства и экосистемных услуг не отражают причинно-следственные связи между ними [40, 42, 45].

Согласно концепции “grain-focus-extent”, исследования проводятся с учетом анализа экосистемных сервисов в трех масштабах: глобальном, региональном и локальном. Различные подходы к оценке экосистемных услуг на федеральном и региональном уровнях представлены в прототипе национального доклада об экосистемных услугах России (для наземных экосистем) [40]. Полученные оценки являются иллюстрациями возможных подходов, показывают важность начала формирования в России системы оценки экосистемных сервисов и интеграции их ценности в экономику и процесс принятия решений [39, 40]. Однако выгоды, полученные по этим масштабам, часто не совпадают [3].

Доминирующим объектом исследования на региональном уровне являются природные парки, особо охраняемые природные территории; в большинстве случаев определение ценности сводится к оценке растительного сообщества, другие компоненты ландшафта остаются без достаточного внимания [13, 26, 41, 42, 50]. Иногда учитывается депонирующая углерод роль лесов и болот, а в ряде случаев культурные услуги (туризм) [35, 36].

При оценке ЭУ сельскохозяйственных угодий используются “устойчивость к эрозии”, “аккумуляция химических соединений” [5, 36]

Подходы к оценке экосистемных услуг почв заслуживают отдельного внимания. Участие почвоведов в этих исследованиях скромное, а представление по этому вопросу несколько отличается от работ эколога-экономической направленности. Попытки увязать представления о различных функциях почв с их экономической оценкой на основе отработанных принципов единичны. Пред-

полагается, что “...почвоведы, с присущим им системным видением природы, могут внести свой вклад в экономическую оценку ресурсного потенциала и в ряде случаев скорректировать имеющиеся беспочвенные оценки” [15, с. 29].

Основы подхода к оценке почвенных услуг разработаны Dominati et al. в 2010 г. (цит. по [15]). Их учет представлен лишь в единичных отечественных работах [5, 27, 36]. Связано это с тем, что в ряде классификаций почвообразование и круговорот элементов рассматриваются как поддерживающие услуги и непосредственно не оцениваются. Вместе с тем интерес именно к почвенным услугам значителен, поскольку изменение качества экосистемных услуг часто связано с непосредственным воздействием человека на почвы [15].

В связи с активным ростом городов особое значение приобретает оценка стоимости услуг экосистем на урбанизированных территориях, которая находится в начальной стадии исследований и осуществляется на регионально-локальном уровне. В городских условиях антропогенная деятельность формирует элементарные городские ландшафты (ГЛ), которые выделяются по критериям принадлежности к функциональной зоне, уровню техногенного воздействия и трансформации биологического круговорота веществ: парково-рекреационный, селитебный, селитебно-транспортный, промышленный, агротехногенный [38].

Для ГЛ проводится идентификация услуг, выполняемых зелеными насаждениями, разработка подходов к их оценке и механизмов платежей [2, 3, 20, 24]. Обычно оцениваются лишь услуги по очистке воздуха от загрязнений и рекреация [40].

Несмотря на накопленный значительный объем сведений по городским почвам [8, 16–18, 25, 28, 37, 38, 46, 49, 51, 52], оценке экосистемных сервисов почвенной составляющей не уделяется достаточного внимания. Преобразования почв сказываются на их функционировании и выполнении ими экологических функций, что должно проявляться в осуществлении ЭУ городскими ландшафтами.

В отечественном почвоведении с конца XX в. активно развивается учение об экологических функциях почвы в экосистемах и глобальных функциях почвенного покрова в биосфере [11, 22, 32]. Предложенный теоретический подход позволяет под новым углом оценить роль почвы в биосфере. Его можно обозначить триадой: факторы–почвы–экологические функции. Под почвенными экосистемными функциями понимается участие почвы в жизни элементарных единиц биосферы — биогеоценозов (БГЦ). Экосистемные функции почв делятся на две основные категории: 1) экосистемные (биогеоценозические) и 2) глобальные (биосферные и этносферные). Дальнейшее уточне-

ние их классификации определило наличие четырех категорий экологических функций: биогеоценоотические, литосферные, гидросферные и атмосферные, общебиосферные и этносферные, которые определяются тремя группами свойств почв: физическими, химическими и биологическими [22, 32].

Расширение представлений об экосистемных услугах, экологических функциях почв и ухудшение экологической обстановки в мегаполисах поставило проблему разработки действенного механизма землепользования. Важным является выбор ЭУ и соответствующих им функций экосистем (включая почвы), наиболее чувствительных к воздействию человека, и изменения которых сказываются на качестве среды обитания. Разработаны и апробированы методики, оценивающие экологическое состояние почв города [19, 28–31, 37]. Под экологическим состоянием почв понимают комплекс почвенных свойств, определяющий степень их соответствия природно-климатическим условиям почвообразования и пригодности для устойчивого функционирования естественных и антропогенных экосистем [19]. Экологическое состояние почв, безусловно, влияет на качество экосистемных услуг ГЛ.

Несмотря на еще недостаточную разработку научного направления по выделению, учету и оценке ЭУ, экологические вопросы на урбанизированной территории частично возможно решить. Необходимо отметить некоторые недостатки предлагаемых подходов: при квантификации (численный подсчет) не учитывается зависимость стоимости ЭУ от функционального назначения территории (типа ГЛ), экологического состояния ландшафтов и их отдельных компонентов. Этот недостаток проявляется в отсутствии оценки вклада почв, отвечающих за реализацию широкого набора экосистемных сервисов и в отличие от растительности, являющихся длительно восстанавливаемым ресурсом.

Формирование искусственной среды и потеря естественных ландшафтов на урбанизированных территориях в результате градостроительного развития определяет актуальность работ по количественной оценке утраты способности выполнения экосистемных функций и экосистемных сервисов городскими ландшафтами.

Цель исследования – оценка экосистемных услуг городских ландшафтов с учетом экологических функций почв.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили парково-рекреационные (ПРЛ), селитебно-транспортные (СТЛ) и селитебные (СЕЛ) ландшафты ЮЗАО округа г. Москвы. Парково-рекреационные – это условно ненарушенные или слабонарушенные тер-

ритории природно-исторического парка “Битцевский лес”, селитебные включают пространство у жилых домов с учетом микрозон (палисадники, детские, спортивные площадки, автостоянки и др.), селитебно-транспортные – участки, расположенные в пределах 5 м от транспортных магистралей. В “Битцевском лесу” древесные насаждения представлены широколиственными породами с доминированием липы и дуба, с хорошо выраженным подростом и подростом, травяной ярус характеризуется большим числом видов лесной эколого-ценоотической группы [16]. В селитебных и селитебно-транспортных ГЛ, площадь, занятая зелеными насаждениями, которых соответственно составляет 35 и 45%, преобладают насаждения липы, березы и рябины в групповых и линейных посадках, подрост практически отсутствует. В СЕЛ значительно участие кустарников (бузина, сирень, чубушник, спирея). Травяной покров состоит из луговых и сорно-рудеральных видов.

На урбанизированной территории диагностировали широкий спектр почв. В лесопарке доминируют естественные дерново-подзолистые почвы (Albic Retisols) [16–18], встречаются светло-серые лесные (Luvisols) и некоторые переходные варианты, в СЕЛ и СТЛ – урбаноземы, урбостратоземы и урбоквиземы (Urbic Technosols) [8, 14, 25, 53].

**Алгоритм оценки экосистемных услуг.** Для оценки экосистемных услуг использовали методический подход, основанный на выявлении особенностей функционального назначения ГЛ, соотношении экофункций, экосистемных услуг и показателей состояния некоторых компонентов ландшафта, а также подборе экономических методов оценки. Предложенная ранее авторами методика экономической оценки ЭУ, разработанная на основе исследований, проведенных в “Битцевском лесу” [27], была модифицирована в целях применения для других ГЛ. Основное внимание в данном исследовании уделено таким компонентам ландшафта, как растительность и почвы.

**Анализ экосистемных функций ГЛ.** Для выявления экологических функций городских ландшафтов использована классификация функций почв по Добровольскому и Никитину [22, 32]. Поскольку разные иерархические ранги функций почвы, как интегрального компонента ландшафта, хорошо отражают функции последнего, для решения задач настоящего исследования использовали наиболее подходящие таксономические единицы.

**Выбор экосистемных услуг** проведен с использованием классификации CICES [4], так как в ней присутствует значительный кластер ЭУ, связанный с почвой.

**Методы исследования ландшафтных компонентов.** В исследуемых ландшафтах в идентичных гео-

морфологических условиях закладывали пробные площадки: в ПРЛ – 5, СЕЛ – 9, СТЛ – 5. В лесопарке для оценки профильных особенностей природных почв проводили бурение скважин глубиной до 1 м, в СЕЛ и СТЛ закладывали прикопки. Для проведения аналитических работ отбирали образцы почв по слоям 0–10 и 10–20 см из прикопок в 10-кратной повторности.

**Определение почвенных свойств** ( $pH_{\text{вод}}$  и электропроводности (в вытяжке с соотношением почва : вода 1 : 2 на приборе Cond-315i)  $C_{\text{орг}}$ , плотности сложения) проводили по общепринятым методикам [6, 7]. Биологическую активность почв (базальное дыхание) оценивали на газовом хроматографе (ЛХМ80 модификация “Хром 4”) [21]. Учет численности, биомассы и группового состава почвенных беспозвоночных осуществляли в 3-кратной повторности методом ручной разборки монолитов площадью 1.16 м<sup>2</sup> послойно: 0–10, 10–20 см [9, 12], их разнообразие оценивали индексом Шеннона [10]. Обработку результатов проводили в программе Statistica 10 при уровне доверительной вероятности 0.95.

Для характеристики растительных ресурсов определяли запасы надземной фитомассы древесных насаждений [1]. Противозерозионную устойчивость территории оценивали на основе натуральных наблюдений по площади, занятой древесными насаждениями [40]. Количество пыли, поглощаемое древесными насаждениями, рассчитывали на основании данных по удержанию пыли одним деревом в городских условиях (в среднем 25 кг) [38] и числа деревьев на 1 га (400 в ПРЛ, 180 – в СТЛ и 140 – в СЕЛ). Депонирование углерода  $CO_2$  оценивали с использованием калькулятора Ex-Act [44] и учетом площади ландшафта, занятой зелеными насаждениями.

**Экологическое состояние почв** определяли по методике Строгановой с соавт. [31]. Из предлагаемых показателей выбраны сокращение мощности прогумусированной толщи и запасов углерода, плотность, гранулометрический состав, величины  $pH_{\text{вод}}$  и электропроводности, уменьшение биологической активности и разнообразия мезофауны. В зависимости от уровня изменения соответствующего свойства относительно оптимальных его градаций или природных аналогов проводили оценку по пятибальной шкале (оптимальная – 5, критическая – 1) и умножали на весовой коэффициент значимости свойства (0.5–2.5). Полученные частные коэффициенты  $B_i K_i$  могут служить показателем трансформации/отличия отдельного свойства и использоваться при экономической оценке отдельных ЭУ.

**Методы стоимостной оценки экосистемных услуг.** Для монетизации ЭУ, ассоциируемых с экологическими функциями, использовали следующие методы: рыночных цен, затратный и определения

стоимости предотвращения ущерба. Блок культурных услуг оценивали путем опроса населения (более 100 респондентов) [4, 50]. При расчетах использовали стоимость дождевых червей, леса на корню, почвенного грунта с аналогичным содержанием углерода и аналогичным объемом. Услуги, связанные с выбросом или депонированием углерода или  $CO_2$ , оценивали на основе европейских оценок квотирования выбросов  $CO_2$ . В методе затрат для устранения накопленного вреда с учетом технологических возможностей рассчитывали стоимость очистки почвы от поллютантов электрокинетическим методом. Стоимость очистки от пыли определяли с использованием цены на удельные текущие затраты на охрану атмосферного воздуха от загрязняющих веществ [36].

**Экономическую оценку экосистемных услуг** давали с использованием комплексного подхода, предложенного Пирсом [48], согласно которому величина общей экономической ценности ЭУ является суммой стоимости их использования и неиспользования.

Удельную ценность ГЛ определяли как сумму предоставляемых ЭУ на единицу площади. Расчет обеспечивающих и регулирующих ЭУ проводили по формуле:

$$УЦЭУ = \sum (X_{i,1} \times B_i K_{i,1} / B_i K_{i,max}),$$

где УЦЭУ – удельная ценность экосистемных услуг ГЛ;  $X_{i,1}$  – удельная (на 1 га) экономическая ценность отдельной  $i$ -ой услуги;  $B_i K_{i,1}$  – экологическая оценка параметра ландшафтного компонента;  $B_i K_{i,max}$  – экологическая оценка оптимального состояния параметра ландшафтного компонента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Алгоритм оценки экосистемных услуг ГЛ включает в себя следующие этапы: 1) определение экологических функций ландшафтов в связи с их функциональным назначением; 2) сопоставление экологических функций и ЭУ с показателями состояния компонентов ландшафта; 3) оценку экологического состояния отдельных природных компонентов с учетом различной степени трансформации ландшафтных компонентов; 4) экономическую оценку экосистемных услуг. Аналогичная последовательность исследований представлена в исследовании [39].

**Выбор экологических функций.** На первом этапе алгоритма оценки экосистемных сервисов выделены экологические функции, которые реализуются через функции компонентов ландшафтов, в том числе почв, и представлены двумя группами: этносферными и экосистемными. Этносферные функции отражают социальные аспекты жизни городского населения: размещение жилой за-

**Таблица 1.** Приоритетные этносферные и экосистемные функции исследуемых городских ландшафтов

Функции ландшафтов	Городской ландшафт		
	парково-рекреационный	селитебный	селитебно-транспортный
Этносферные функции			
Размещение жилой застройки	–	+	–
Обеспечение транзита населения и автотранспорта	–	+	+
Рекреационные	+	+	–
Экологическое образование и просвещение	+	–	–
Эстетические	+	+	+
Научные экологические исследования	+	+	+
Экосистемные функции			
Сохранение биологического разнообразия (краснокнижные виды и природные фитоценозы и почвы)	+	–	–
Наличие и формирование благоприятной среды обитания биоты	+	–	–
Регуляция состава, структуры и динамики БГЦ	+	–	+
Аккумуляция и трансформация вещества и энергии БГЦ	+	+	+
Санитарная функция (буферный и защитный экран БГЦ)	+	+	+
Регулирование влагооборота, газового режима и состава атмосферы	+	+	+

стройки, транспорта, рекреационных зон и др. Экосистемные – определяют функционирование природных компонентов и обеспечивают комфортные условия городской среды.

С учетом расширения функционального назначения городских территорий линейка этносферных функций дополнена эстетической, экологического образования и просвещения. Последнее свидетельствует о возрастании интереса общества к актуальным экологическим проблемам и является связующим звеном между этносферными и экосистемными функциями. Перечень экологических функций был расширен, что связано с активным продвижением задачи сохранения природного биологического разнообразия и устойчивого развития городов.

Являясь природно-антропогенными объектами, исследуемые типы городских ландшафтов выполняют весь спектр экосистемных функций. В соответствии со спецификой ГЛ и их функциональным назначением выбраны приоритетные функции (табл. 1).

Среди этносферных функций в СТЛ доминирует “обеспечение транзита населения и различных видов транспорта”. Эти территории рассматриваются как объекты прикладных исследований по оценке влияния транспорта на экологическое состояние городской среды. Последнее характерно и для СЕЛ, однако основное их назначение – размещение жилой застройки и зон активной рекреации. Эти ландшафты выполняют и эстетиче-

ские функции, определяющие эмоциональное восприятие их внешнего облика, что учитывается в проектных решениях по организации пространства городской среды. Эстетические функции, как и рекреационные, в полной мере реализуются и в парково-рекреационных ландшафтах. ПРЛ уникальны: здесь сохраняются ненарушенные или слабопреобразованные экосистемы, что в значительной мере определяет научный интерес к ним и активное проведение научных исследований. Ландшафты данного типа являются базой для организации экологического образования и просвещения.

В отличие от этносферных функций экосистемные выполняются всеми типами ландшафтов. ГЛ включают все природные компоненты (растительность, почвы, водные объекты и др.), обеспечивающие осуществление основных экологических функций: “аккумуляцию и трансформацию вещества и энергии БГЦ”, “регулирование влагооборота”, “газового режима и состава атмосферы”, “буферного и защитного экрана БГЦ”. Функция “формирования благоприятной среды обитания биоты” характерна для всех ГЛ, однако в каждом имеется своя специфика проявления.

Ландшафтные компоненты СЕЛ и СТЛ сформированы искусственно и отличаются от условно-природного “Битцевского леса”. В антропогенно-преобразованных ландшафтах функция “регуляции состава, структуры и динамики БГЦ” также реализуется. Однако искусственное формирование зеленых насаждений и регулярное примене-

ние системы ухода за ними (упрощение вертикальной структуры фитоценозов, кошение травостоя, сбор подстилки, замена газонных покрытий и почво-грунтов и др.) в значительной мере нивелирует результаты естественных процессов динамики БГЦ [33].

В рамках рассмотрения экологических функций среди ГЛ особое место занимают парково-рекреационные. С учетом наличия ненарушенного экосистем функция “сохранения биологического разнообразия” (краснокнижные виды биоты, природные фитоценозы и почвы) реализуется только на данных территориях, что определяет их особую экологическую ценность.

**Выбор экосистемных услуг, оказываемых ГЛ,** проведен с учетом выполнения экологических функций такими основными компонентами ландшафта, как почва и растительность. Он основывался на возможности их сопоставления с экофункциями ландшафтных компонентов, в частности, функциями и свойствами почв, ответственными за их реализацию. Экосистемные функции ассоциируются с обеспечивающими и регулирующими услугами, а этносферные – с культурными.

Из 23-х включенных в классификацию CICES ЭУ выбрано 10 (табл. 2), что значительно больше, чем представлено в других исследованиях [5, 36, 39, 40]. Перечень услуг составлен с учетом их иерархического положения до уровня типа, в соответствии с тремя основными секциями: обеспечивающие, регулирующие и культурные [41]. В используемой классификации наибольшее число ЭУ включено в секцию регулирующих, что нашло отражение в списке ЭУ ГЛ, где половина – регулирующие.

Среди обеспечивающих услуг “генетический материал биоты” соотносится с функцией почв, определяющей условия среды обитания и, в частности, разнообразие и численность почвенной мезофауны (табл. 3). Функция “регуляции газового режима и состава атмосферы” в значительной мере определяется запасами растительных ресурсов и отчасти – биологической активностью почв.

Регулирующие услуги связаны с такими функциями почв, как “буферный и защитный барьер”, “защита от эрозии”, “аккумуляция и трансформация вещества и энергии”, “почвенное плодородие”. В выполнении важнейшей ЭУ по регулированию состава атмосферы и климата ведущая роль принадлежит растительности.

Культурные услуги включают рекреацию и развлечения (прогулки, отдых на площадках и пр.), чувственное восприятие природы, эстетическое наслаждение, ценность существования (осознание удовлетворения от наличия парка вне зависимости от того, есть ли возможность его посетить) и физическое (прямое) использование ландшафта для других назначений.

Монетизацию услуги по “сохранению и предоставлению генетического материала биоты”, “основных растительных ресурсов” (запасы древесины), “устойчивого заповедного существования” и “регуляции климата” (на основе международных оценок квот парниковых газов) проводили методом рыночных цен, используемым при оценке экосистемных услуг, которые имеют аналоги товаров или услуг на действующем рынке. В тех случаях, когда ЭУ не имеет аналога на действующем рынке товаров и услуг и необходимы косвенные оценки их стоимости, применяли два метода (затратный и определения стоимости предотвращения ущерба). Затратный метод (стоимость замещения) используется при оценке затрат, которые необходимо понести в случае, если экосистема перестанет выполнять данную услугу. Например, почва не сможет аккумулировать и фильтровать загрязняющие вещества и потребуются замена почвенного слоя для достижения приемлемых концентраций этих соединений. Данным методом оцениваются услуги “почвообразования”, “фильтрации и аккумуляции химических элементов”.

ЭУ контроля почвенной эрозии можно оценить по стоимости работ, необходимых для ликвидации нарушений территории при активации эрозионных процессов, которые ранее сдерживались, например, растительностью. Метод определения стоимости предотвращения ущерба используется для оценки работ, направленных на предотвращение негативных последствий, которые могут возникнуть при деградации экосистемы и соответствующей услуги.

Метод субъективной оценки применяется для оценки спроса на культурные экосистемные услуги (прямое использование ландшафта для разных назначений, развлечения и отдых (рекреация), эстетическое наслаждение, ценность существования) и определения величины средств, которые потребители готовы за них платить.

**Ландшафтные компоненты и экосистемные услуги.** С растительностью связано выполнение обеспечивающих и регулирующих ЭУ. Обеспечивающая услуга, оцениваемая в данном исследовании, ассоциирована с “величиной запасов биомассы растительных ресурсов”. Для оценки обеспечивающих ЭУ (“регуляция климата по удалению парниковых газов”, “поглощение пыли древесными насаждениями”, “устойчивость масс вещества и контроль уровня эрозии”) ландшафта анализировали характеристики растительности, которые используются при аналогичных исследованиях в качестве актива [40].

С учетом доли территории ландшафтов, занятых зелеными насаждениями, максимальные запасы наземной фитомассы установлены в лесопарке “Битцевский лес” (350 т/га), наименьшие (125.5 т/га) – на дворовых территориях, а вдоль

**Таблица 2.** Экосистемные функции, экосистемные услуги исследуемых ГЛ и методы их экономической оценки

Экосистемные функции ландшафта и его компонентов	Иерархические уровни экосистемных услуг		Метод экономической оценки ЭУ
	группа	класс/ <i>тип</i>	
Секция: Обеспечивающие услуги, дивизион – материалы			
Среда обитания, регуляция состава, структуры БГЦ	Биомасса	Генетический материал всей биоты/ <i>генетический материал древесных растений, кустарников, травянистого яруса, животных, птиц и микроорганизмов, отдельно выделяются краснокнижные виды</i>	Метод рыночных цен
Секция: Обеспечивающие услуги, дивизион – энергия			
Регуляция газового режима и состава атмосферы	Энергия на основе биомассы	Основные растительные ресурсы/ <i>общие запасы древесины</i>	Метод рыночных цен
Секция: Регулирующие услуги и устойчивость, дивизион – потоки			
Защита от эрозии	Потоки вещества	Устойчивость масс вещества и контроль уровня эрозии/ <i>сохранение устойчивости почвенного покрова растительностью на участках с наибольшей опасностью эрозии</i>	Метод определения стоимости предотвращения ущерба
Санитарная функция		Испарение и очистка воздуха/ <i>очистка воздуха от атмосферной пыли</i>	Затраты на охрану атмосферного воздуха от загрязняющих веществ
Секция: Регулирующие услуги и устойчивость, дивизион – поддержание физических, химических, биологических условий			
Буферный и защитный барьер	Почвообразование	Фильтрация и аккумуляция химических элементов/ <i>аккумуляция тяжелых металлов, нефтепродуктов и др.</i>	Затратный метод (стоимость замещения)
Аккумуляция и трансформация вещества и энергии, почвенное плодородие		Процессы выветривания, процессы почвообразования/ <i>активность почвенной биоты, химический и физический педогенез</i>	
Секция: Культурные услуги, дивизион – физическое и интеллектуальное взаимодействие с компонентами			
Этносферная (рекреационная)	Физические и экспериментальные взаимодействия	Физическое (прямое) использование ландшафта для разных назначений/ <i>рекреация (прогулки, активный отдых, наличие троп и полей)</i>	Метод субъективной оценки
Этносферная (рекреационная)	Интеллектуальное взаимодействие	Развлечения и отдых (рекреация)/ <i>праздники природы, спортивные городские эстафеты и др.</i>	
Этносферная		Эстетическое наслаждение/ <i>чувство близости природы, источник вдохновения</i>	
Секция: Культурные услуги, дивизион Духовное и символическое взаимодействие			
Этносферная	Другие культурные результаты	Ценность существования/ <i>наличие ЭС самой по себе</i>	Метод субъективной оценки

Таблица 3. Экосистемные услуги и показатели экологического состояния почв исследуемых ГЛ

Класс экосистемных услуг	Параметр почвы	Значение параметра в разных ГЛ			Бальная оценка, В1			$B_i K_i$		
		городской ландшафт								
		ПРЛ	СЕЛ	СТЛ	ПРЛ	СЕЛ	СТЛ	ПРЛ	СЕЛ	СТЛ
Обеспечивающие услуги										
Генетический материал биоты	Численность почвенной мезофауны в слое 0–20 см, экз./м <sup>2</sup>	470	192	172	5	3	2	5	1.5	1
	Разнообразие почвенной мезофауны (индекс Шеннона), ед.	3.47	1.90	2.42	5	3	3	5	1.5	1.5
Регулирующие услуги и устойчивость										
Фильтрация и аккумуляция химических элементов в экосистеме	Плотность сложения в слое 0–10 см, г/см <sup>3</sup>	1.05	1.22	1.19	5	4	5	5	4	5
	Электропроводность почвенного раствора, дСм/м	0.11	0.14	0.12	5	5	5	6	5	5
	Величина рН <sub>вод</sub> 0–20 см	6.2	6.8	6.8	4	5	5	4	5	5
	Гранулометрический состав, % физической глины	23	35	30	5	4	4	5	6	6
	Уменьшение запасов углерода в слое 0–20 см, т/га	Нет	25	10	5	3	5	7.5	3	5
	Содержание тяжелых металлов (по СПК, ед.)*	6.6	12	22	5	5	4	5	12.5	10
Устойчивость масс вещества и контроль уровня эрозии*	Площадь под древесными насаждениями на склонах, %	95	5	Нет	5	5	5	5	5	5
	Процессы выветривания и почвообразования	Уменьшение мощности органо-генной толщи, %	Нет	56	30	5	3	4	7.5	4.5
Устойчивое заповедное существование	Биологическая активность (БД, мкг С–СО <sub>2</sub> /ч)	3.5	1.3	2.5	5	3	4	5	1.5	2
	Сохранения профиля природных почв	Да	Нет	Нет	5	1	1	7.5	2.5	2.5

Примечание.  $B_i$  – оценка отдельных  $i$ -ых диагностических показателей свойств почв в баллах (5 – оптимальная ситуация, 1 – практически необратимое нарушение свойства);  $K_i$  – весовой коэффициент значимости отдельных  $i$ -ых диагностических показателей свойств почв (в зависимости от ГЛ и свойства почв варьирует от 0.5 до 2.5);  $B_i K_i$  – показатель уровня трансформации/отличия отдельного почвенного свойства: \* СПК – суммарный показатель концентрации тяжелых металлов [31], 9,12\* – показатель, предложенный авторами.

автотранспортных магистралей – промежуточные (157.5 т/га). Разные типы ГЛ по количеству атмосферной пыли, поглощаемой древесными насаждениями и депонируемую ими углерода ранжируются аналогично: 10, 3.5 и 4.5 т/(га год), и 240, 84 и 108 т СО<sub>2</sub> экв./(га год) соответственно. Услугу “устойчивость масс вещества и контроль уровня эрозии” оценивали по доли площади зеленых насаждений на склонах, которая по натурным наблюдениям составила в ПРЛ 13%, в СЕЛ – 3%, а в СТЛ такие участки отсутствуют.

**Экологическая оценка почвенных свойств.** Почва выполняет в экосистемах множество экотипов, а отдельные почвенные свойства или их комплекс участвуют в осуществлении тех или иных предоставляемых экосистемных услуг. Преобразование под влиянием различных факторов почвенных показателей может привести к изменению качества ЭУ. Оценка экологического состояния свойств почв с учетом степени их трансформации (или отличия) относительно природного потенциала или оптимальных значений



представлена в табл. 3. В развитии методики [27] спектр почвенных свойств был расширен: добавлены показатели биологической активности (базальное дыхание) и сохранность профиля природных ненарушенных почв. Из выбранных почвенных показателей обеспечивающие ЭУ определяются численностью и разнообразием почвенной биоты. Регулирующая экоуслуга “фильтрация и аккумуляция химических элементов в экосистеме” соотносится с широким набором почвенных свойств (плотность, ЕС, рН, гранулометрический состав, уменьшение запасов органического углерода, загрязнение тяжелыми металлами), “процессы выветривания и почвообразования” только с двумя свойствами (уменьшение мощности органогенной толщи, биологическая активность). Очень важную для городских территорий (где доминируют антропогенно-преобразованные ландшафты) услугу “устойчивое заповедное существование” ассоциировали с дополненным показателем “сохранение профиля природных почв”. В рамках концепции устойчивого развития биосферы и, в частности, городов, сохранение природного биологического разнообразия является необходимым элементом. Наличие сохраненных природных и слабопреобразованных систем, в том числе почв, в ПРЛ определяет их чрезвычайно высокую экологическую ценность, что принципиально отличает их от других ландшафтов города.

Почвенные показатели зависят от типа ГЛ. В ПРЛ все свойства почв характеризуются как оптимальные, с максимальной балльной оценкой ( $B_i$ ) “5”. На территориях СТЛ и СЕЛ отличия показателей почвенных свойств относительно оптимума ( $B_i$  меньше 5 баллов) проявляется в 58–66% случаев (соответственно, 7 и 8 из 12). В почвах дворовых территорий существенное снижение балла (с 5 до 1–3) отмечается для численности почвенной биоты, уменьшения запасов  $C_{орг}$  и мощности прогумусированной толщи, биологической активности и накопления тяжелых металлов, а вдоль магистралей – только для почвенной биоты. Причины таких изменений многочисленны: нарушение почвенного профиля, уплотнение почв в результате рекреации, прямое вытаптывание почвенной мезофауны, нарушение путей ее миграции, внесение при рекультивации и обновлении верхних горизонтов торфокомпостных смесей и песка, загрязнение углеродсодержащими, кальций содержащими и другими соединениями [8, 16–18, 25, 28–30, 37, 38].

Далее рассчитывали частные показатели уровня преобразования (отличия от оптимума) ( $B_iK_i$ ) конкретных почвенных свойств с учетом весового коэффициента значимости и типа ГЛ. На условно-природных территориях “Битцевского леса” (“ядро” лесопарка без существенной рекреации и других видов антропогенной деятельности) при вы-

соких значениях частных показателей  $B_iK_i$  (5–7.5) экологическое состояние почв оценивается как благоприятное. В СЕЛ и СТЛ антропогенное воздействие в наибольшей мере влияет на численность, разнообразие почвенной биоты, биологическую активность почв, сохранность почвенного профиля ( $B_iK_i$  уменьшаются от 7–7.5 до 1–2.5 баллов). Отмечается ухудшение таких диагностических почвенных параметров, как запасы органического углерода, мощность органогенной толщи (на 2.5–4.5 балла). Преобразование остальных свойств (за исключением содержания тяжелых металлов) оценивается в один балл уменьшения. В максимальной степени трансформация почвенных свойств отмечается на дворовых территориях.

**Экономическая оценка экосистемных услуг.** Результаты монетизации ЭУ разных городских ландшафтов свидетельствуют, что по удельной стоимости ПРЛ и СЕЛ сопоставимы (12.5 и 14.7 млн руб.), а СТЛ обладают ценностью в 2 раза меньше (6 млн руб.) (табл. 4).

В суммарной стоимости наиболее значимыми оказались регулирующие ЭУ (среднее 62% при колебаниях 41–83%), минимальная доля принадлежит обеспечивающим (13% при варьировании 5–19%), а культурным – в среднем 25% (диапазон 1–54%) (табл. 4). Полученное соотношение слабо коррелирует с оценкой долевого участия экосистемных услуг всей территории России [40], где оно выстраивается следующим образом: обеспечивающие, регулирующие, культурные – 5.7, 94 и 0.3%. В первую очередь отличия за счет увеличения значимости культурных услуг логично отражают особенности городского пространства. Как отмечается в литературе, выгоды, полученные по разным масштабам исследования, часто не совпадают [3].

Как и следовало ожидать, максимальная стоимость обеспечивающих и регулирующих услуг, ассоциируемых с природными компонентами ландшафтов, характерна для “Битцевского леса” и на 30–40% выше по сравнению с дворовыми и примагистральными территориями соответственно. Анализ участия растительности и почвы в предоставлении экосистемных услуг показывает, что именно почва вносит существенный вклад в их стоимость. Выгоды, формируемые растительностью, варьируют от 200 до 517 тыс. руб./га, а почвой – от 5766.4 до 9573, то есть в 18–33 раза больше.

Для упрощения расчета стоимости почвенных ЭУ, как предлагалось ранее [27], можно использовать коэффициент, отражающий отношение их цены к цене ЭУ растительного покрова.

Отмеченные различия в первую очередь определяются высокой стоимостью ЭУ, обеспечиваемых функциями почв: “генетический материал почвенной биоты” и “фильтрация и аккумуляция химических элементов”. Оценка величины “запасов углерода” весьма существенна. Сервисы

**Таблица 4.** Удельная стоимость экосистемных услуг в разных городских ландшафтах

Услуга	Оцениваемые параметры	Удельная ценность территории ГЛ (тыс. руб./га)		
		городские ландшафты		
		ПРЛ	СЕЛ	СТЛ
<b>Обеспечивающие</b>				
Генетический материал всей биоты	Численность почвенной биоты	2160	566	864
	Разнообразие почвенной биоты	Не существует достоверных методов экономической оценки		
Основные растительные ресурсы	Величина запасов биомассы	189	87.9	110.3
Сумма обеспечивающих услуг		2349	654	974
<b>Регулирующие</b>				
Испарение и очистка воздуха	Поглощение пыли древесными насаждениями	134.8	47.2	60.7
Устойчивость масс вещества и контроль уровня эрозии	Наличие древесных и травянистых насаждений на склонах	26	3	0
Фильтрация и аккумуляция химических элементов в экосистеме	Содержание тяжелых металлов	6000	4800	3600
	Величина запасов органического углерода	1400	1100	1300
Процессы выветривания и почвообразования	Мощность гумусированной толщи	Не существует достоверных методов экономической оценки		
Процессы разложения и фиксации	Биологическая активность почв	13	3	2
Регуляция климата по удалению парниковых газов	Депонирование CO <sub>2</sub> древесными растениями	168	58.8	75.6
Устойчивое заповедное существование	Сохранение профиля природных почв	Не существует достоверных методов экономической оценки		
Сумма регулирующих услуг		7742	6012	5039
ЭУ растительности		517.8	196.9	246.6
ЭУ почвы		9573	6469	5766
Соотношение стоимости ЭУ почвы и растительности		18	33	23
<b>Культурные</b>				
Физическое (прямое) использование ландшафта для разных назначений	Рекреация (прогулки, активный отдых, наличие троп и полей)	1925	3557	20.5
Развлечения	Отдых и развлечения на территории парка, праздники природы, спортивные эстафеты	15	4000	0
Эстетическое наслаждение	Чувство близости природы, источник вдохновения	350	250	0
Ценность существования	Наличие природного парка самого по себе	91	200	20.5
Сумма культурных услуг		2381	8007	42
Сумма общая		12472	14673	6055
Соотношение (доля) обеспечивающих, регулирующих и культурных ЭУ (% от общей стоимости)		19 : 62 : 19	5 : 41 : 54	16 : 83 : 1

почв отличаются особенно высокой стоимостью, поскольку интеллектуальные и технические затраты человека на компенсацию их природных функций также очень значительны. Стоимость ЭУ “процессов разложения и фиксации” на 2 порядка меньше и составляет 2–13 тыс. руб./га год). Однако если провести сравнение с депонированием углерода древесными насаждениями 40-летнего возраста, то в результате пересчета на этот период получим около 500 тыс. руб., что 2.5 раза превышает стоимость данной ЭУ зеленых насаждений.

По-видимому, для оценки ЭУ, связанных с функционированием почвы в городских ландшафтах, более перспективным является выбор таких почвенных показателей, как запасы углерода, способность аккумулировать поллютанты, биологическая активность почв, состояние почвенной биоты. Гранулометрический состав, плотность, реакцию среды и др. сложно монетизировать, они влияют на перечисленные выше свойства. Данный подход позволит в значительной мере избежать двойной оценки почвенных ЭУ [40].

Услуга “величина запасов биомассы основных растительных ресурсов” в разных городских ландшафтах не отличается высокой стоимостью: в ПРЛ это 189 тыс. руб./га, а в СЕЛ и СТЛ на 50 и 30% меньше. Стоимость сервиса древесных растений по депонированию углерода (59–168 тыс. руб./га) и поглощению пыли (47–134 тыс. руб./га) сопоставимы и значительно меньше стоимости ЭУ почв, что определяется, прежде всего, возможностью восстановления данного ресурса в относительно небольшие сроки. Почва как сложная система, характеризующаяся длительным периодом формирования, является длительно восстанавливаемым ресурсом, поэтому ЭУ по “сохранению разнообразия почвенной биоты”, “сохранению профиля природных почв” являются, по сути, “бесценными”.

Необходимо отметить наличие проблемы корректной экономической оценки некоторых регулирующих услуг. Стоимость услуг по “фильтрации и аккумуляции химических элементов” по сравнению с услугами по “поддержанию процессов разложения и фиксации”, “регуляции климата по удалению парниковых газов” значительно отличается и превосходит их на порядки. Связано это с тем, что услуги, которые возможно заменить, применяя человеческие и технические возможности, стоят дороже, чем те, которые не имеют аналогов на рынке. При этом высокая стоимость услуги “по фильтрации и аккумуляции химических элементов” обусловлена высокой ценой и сложностью процесса очистки почвенного материала от поллютантов, а рыночное предложение по увеличению биологической активности или депонированию углерода непосредственно на месте оценки отсутствует. Поэтому невысокую стоимость некоторых регулирующих услуг следует воспринимать

как их недооцененность, поскольку утрата такой услуги невозможна искусственным способом.

Неожиданно стоимость культурных услуг “Битцевского леса” респондентами оценивается достаточно низко (2381 тыс. руб./га). Видимо, это в значительной мере определяется слабым развитием рекреационных объектов на этой территории. Очевидно, культурная значимость ПРЛ, который находится в черте города, недооценена. При незначительных вложениях в инфраструктуру отдыха в парке прирост стоимости культурных услуг окажется существенным. Невысокая стоимость этого блока услуг свидетельствует, что в обществе еще не сформировалось представление об экологической ценности парковых территорий.

Культурные сервисы дворовых территорий имеют наибольшую стоимость, в 3 раза превышающую таковую в ПРЛ. Для СЕЛ функция рекреации имеет особое значение (табл. 1) и ценность (3557 тыс. руб./га), что отражается в стоимостной оценке этих услуг (8007 тыс. руб./га), составляющих 54% от суммарной стоимости всех услуг. Аналогичное соотношение стоимости услуг отмечено для историко-культурной территории “Ясная Поляна” [36]. Высокая ценность культурных услуг селитебного ландшафта связана с его расположением в месте потребления данных услуг, то есть в непосредственной близости от населения жилых домов, торговых, развлекательных центров и др. Близость к центру потребления всегда ведет к увеличению востребованности и стоимости услуг, в том числе экосистемных. Минимальная стоимость культурных сервисов для населения отмечена в СТЛ: лишь 42 тыс. руб./га. Они явно недооцениваются, так как эстетическое восприятие данных территорий является частью эстетики городской среды.

Оценка культурных услуг основывается на опросном методе респондентов, учитывая субъективное мнение и личный опыт каждого выгодополучателя в данный момент времени. Поэтому ее результаты ограничены во времени и показывают востребованность сервисов ландшафта в текущий момент, то есть в краткосрочной перспективе. Оценка регулирующих и обеспечивающих услуг базируется на других методах экономической оценки и использует конкретные биологические, физические и химические параметры окружающей среды. Флуктуация оцениваемых параметров неживой природы меньше, чем настроения людей, как потребителей определенных услуг. Поэтому результаты оценки регулирующих и обеспечивающих услуг показывают более стабильную величину и ценность ландшафта в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволили ранжировать исследованные городские ландшафты по уменьшению выгод выполнения ими экосистемных услуг следующим образом: СЕЛ – ПРЛ – СТЛ. Максимальная ценность дворовых территорий связана с их активным участием в реализации культурных услуг и успешным выполнением экологических. Стоимость ЭУ лесопарка несколько меньше (при высокой цене природного блока и невысокой – культурного), а селитебно-транспортного существенно меньше (в 2 раза) в основном за счет культурных услуг. При оценке экосистемных сервисов, выполняемых городскими ландшафтами, установлены две главные особенности: значительное участие культурных ЭУ (до 50%), недооценка экологических функций, услуг и, соответственно, экологического значения ландшафтов.

Несомненно, стоимостная оценка ЭУ ГЛ имеет важное прикладное значение в рамках градостроительства и должна быть использована в качестве инструмента организации городской среды, регулирующего строительные работы и экологическое состояние урбанизированных территорий. Наиболее ценным по обеспечивающим и регулирующим услугам является лесопарк “Битцевский лес”, сохранность которого должна быть приоритетной задачей при организации городского пространства. Для селитебных ландшафтов, характеризующихся минимальной стоимостью ЭУ экологического блока, необходимо разработать подходы и мероприятия по оптимизации, прежде всего, почвенных свойств и условий функционирования почвенного покрова, что должно найти отражение в нормативах по формированию почв и мероприятиях по благоустройству города. Цена восстановления ЭУ, осуществляемых почвой, очень высока и определяет необходимость максимального сохранения почвенного покрова при проектировании и организации ГЛ в условиях градостроительства и соответственно регулирования площади запечатанных территорий на законодательной основе. Для оценки стоимости ГЛ необходимо, в первую очередь, учитывать стоимость ЭУ, реализуемых почвой, поскольку их цена сопоставима или на порядок больше цены ЭУ зеленых насаждений, а некоторые почвенные ЭУ являются бесценными в связи со сложностью возобновления данного природного ресурса и невозможностью полностью компенсировать их экологические функции.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 121040800321-4 (“Индикаторы трансформации биогеохимических циклов биогенных элементов в природных и антропогенных экосистемах”) и Программы развития Междисциплинарной научно-

образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамова Л.И., Березина Н.А.* Летняя практика по ботанике. М.: Изд-во Моск ун-та, 1988. 85 с.
2. *Баранова О.Ю., Семенюк О.В., Бодров К.С., Стома Г.В.* Экосистемные услуги и нормативно-методический подход как инструменты эколого-экономической оценки природного участка в условиях градостроительства // Академический вестник УРАЛ-НИИпроект РААСН. 2020. Т. 45. № 2. С. 21–27.
3. *Бобылев С.Н.* Подходы к оценке экосистемных услуг на уровне города и механизмы платежей // Бюл. “На пути к устойчивому развитию России”. 2014. № 70. С. 3–12.
4. *Бобылев С.Н., Захаров В.М.* Экосистемные услуги и экономика. М.: Центр экологической политики России, 2009. 72 с.
5. *Бондаренко Е.В.* Опыт учета экосистемных сервисов почв при оценке деградации земель (на примере УО ПЭЦ МГУ). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2016. 25 с.
6. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропроиздат, 1986. 416 с.
7. *Воробьева Л.А.* Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
8. *Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В.* Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
9. Методы почвенно-зоологических исследований / Под ред. М.С. Гилярова. М.: Наука, 1975. 280 с.
10. География и мониторинг разнообразия / Под ред. Н.С. Касимова и др. М.: Изд-во Научного и учебно-методического центра, 2002. 432 с.
11. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Экологические функции почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 136 с.
12. *Догель В.А.* Зоология беспозвоночных. М.: Высшая школа, 1981. 606 с.
13. *Желтухин А.С., Сандлерский Р.Б., Пузаченко Ю.Г.* Место биосферных заповедников в оценке потенциала экосистемных услуг в регионе // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 1. № 1(6). С. 1508–1516.
14. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
15. *Конюшков Д.Е.* Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 80. С. 26–49.

16. Кузнецов В.А. Почвы и растительность парково-рекреационных ландшафтов Москвы. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2015. 26 с.
17. Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В. Изменение свойств почв лесопарков Москвы при высоком уровне рекреационной нагрузки // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1270–1281.
18. Кузнецов В.А., Стома Г.В., Бодров К.С. Состояние сообщества мезопедобионтов в московских лесопарках как индикатор рекреационной нагрузки и формирования импактных зон вдоль тропинок // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2014. № 1. С. 44–52.
19. Макаров О.А. Почему нужно оценивать почву? (состояние/качество почвы: оценка, нормирование, управление, сертификация). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 259 с.
20. Медведева О.Е. Алгоритм стоимостной оценки экосистемных услуг природных территорий города Москвы // Бюл. “На пути к устойчивому развитию России”. 2014. № 70. С. 13–32.
21. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Отв. ред. Д.Г. Звягинцев. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 303 с.
22. Никитин Е.Д. Основа жизни на Земле: почва—Россия—цивилизация. М.: МАКС Пресс, 2010. 220 с.
23. Перелет Р.А. О некоторых актуальных аспектах оценки экосистемных товаров и услуг в России // ТЕЕВ процессы и экосистемные оценки в Германии, России и в некоторых других странах Северной Европы. Бонн: Федеральное ведомство по охране природы, 2014. С. 83–93.
24. Потапова Е.В. Экосистемные услуги озелененных территорий поселений // Бюл. науки и практики. 2016. № 9(10). С. 36–41.
25. Почва, город, экология / Отв. ред. Г.В. Добровольский. М.: Фонд “За экономическую грамотность”, 1997. 320 с.
26. Пузаченко Ю.Г., Сандлерский Р.Б., Санковский А.Г., и др. Оценка потенциала обеспечивающих, поддерживающих и регулирующих экосистемных услуг с использованием мультиспектральной дистанционной информации (глобальный и региональный уровни) // Учет и оценка экосистемных услуг (ЭУ) — опыт, особенности Германии и России. Бонн: Федеральное ведомство по охране природы, 2014. С. 118–133.
27. Семенюк О.В., Бодров К.С., Стома Г.В., Яковлев А.С. Оценка стоимости экосистемных услуг природного парка “Битцевский лес” // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2019. № 3. С. 23–30.
28. Стома Г.В. Экологическое состояние почв и древесных насаждений селитебных ландшафтов г. Москвы // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2016. № 1. С. 41–48.
29. Стома Г.В., Ахадова Е.В. Характеристика и экологическое состояние почв территории МГУ имени М.В. Ломоносова // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2015. № 1. С. 35–41.
30. Стома Г.В., Романова Л.В. Экологическое состояние почв и древесной растительности в городских парково-рекреационных ландшафтах (на примере Екатеринского парка г. Москвы) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2019. № 4. С. 11–18.
31. Строганова М.Н., Прокофьева Т.В., Прохоров А.Н., Лысак Л.В., Сизов А.П., Яковлев А.С. Экологическое состояние городских почв и стоимостная оценка земель // Почвоведение. 2003. № 7. С. 867–875.
32. Структурно-функциональная роль почвы в биофере / Отв. ред. Г.В. Добровольский. М.: ГЕОС, 1999. 278 с.
33. Телеснина В.М., Семенюк О.В., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И. Особенности напочвенного покрова и лесных подстилок в искусственных липовых насаждениях в зависимости от характера ухода // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2018. № 2. С. 3–11.
34. Тишков А.А. Экосистемные услуги ландшафтов как один из главных стратегических ресурсов России. Стратегические ресурсы и условия устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов // Краткие итоги реализации Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН №13 в 2012–2014 гг. М.: Ин-т географии РАН, 2014. С. 70–88.
35. Тихонова Т.В. Экосистемные услуги: роль в региональной политике и подходы к оценке. Известия Коми научного центра УрО РАН. № 3(27). Сыктывкар, 2016. С. 134–142.
36. Цветнов Е.В., Макаров О.А., Григорян К.Л., Крайильникова В.С. Оценка экосистемных услуг земель историко-культурного назначения (на примере музея-усадьбы Л.Н. Толстого “Ясная Поляна”) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2018. № 4. С. 47–53.
37. Экологические функции городских почв / Отв. ред. А.С. Курбатова, В.Н. Башкин М.—Смоленск: Маджента, 2004. 232 с.
38. Экология города / Под ред. А.С. Курбатовой и др. М.: Научный мир, 2004. 624 с.
39. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Услуги наземных экосистем / Под ред. Е.Н. Букваревой, Д.Г. Замолдчикова. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. Т. 1. 148 с.
40. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учета в России / Под ред. Е.Н. Букваревой, Т.В. Свиридовой. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2020. Т. 2. 252 с.
41. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). 2013. <https://cices.eu> (дата обращения: 19.10.2018).
42. Costanza R., d’Arge R., de Groot R. et al. The value of the world’s ecosystem services and natural capital // Nature. 1997. V. 387. P. 253–260.
43. Elsasser P. Umweltökonomische Bewertung der Ökosystemleistungen von Wäldern // Methodik und Anwendungsperspektiven. BfN-Skripten. Bonn, 2014. P. 278–293.
44. FAO. 2017. Ex-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT). QUICK GUIDANCE. By Uwe Grewer, Louis Bockel, Laure-Sophie Schiettecatte and Martial Bernoux Food

- and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017. 31 p.
45. *Grunewald K., Bastian O.* Bewertung von ÖSD in Naturschutzgebieten (Natura 2000) und Agrarlandschaften – Methodik und Fallbeispiele // Erfassung und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen (ÖSD). Bonn, 2014. P. 238–263.
  46. *Madrid L., Díaz-Barrientos E., Reinoso R., Madrid F.* Metals in urban soils of Sevilla: seasonal changes and relations with other soil components and plant contents // *Eur. Soil Sci.* 2004. V. 55. № 2. P. 209–217.
  47. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being // Synthesis Report. Island Press, Washington DC, 2005. 160 p.
  48. *Muller F., Burkhard B.* An ecosystem-based framework to link landscape structures, functions and services // Multifunctional Land Use. Meeting Future Demands for Landscape Goods and. Berlin: Heidelberg, 2007. P. 37–64.
  49. *Park S.-J., Cheng Z., Yang H., Morris E.E., Sutherland M. et al.* Differences in soil chemical properties with distance to roads and age of development in urban areas // *Urban Ecosystems*. 2010. V. 13. № 4. P. 483–497.
  50. Payments for ecosystem services getting started: a primer. Forest Trends. The Katoomba Group. UNEP, 2008. <http://www.unep.org> (дата обращения: 23.10.2018).
  51. *Pouyat R.V., Yesilonis I.D., Russell-Anelli J., Neerchal N.K.* Soil Chemical and Physical Properties That Differentiate Urban Land-Use and Cover Types // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2007. V. 71. № 3. P. 1010–1019.
  52. *Scharenbroch B.C., John E., Lloyd J.E., Johnson-Maynard J.L.* Distinguishing urban soils with physical, chemical, and biological properties // *Pedobiol.* 2005. V. 49. № 4. P. 283–296.
  53. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Report. № 106. FAO. Rome, 2015. 203 p.

## Evaluation of the Cost of Ecosystem Services of Urban Landscapes (Using the Example of Moscow)

O. V. Semenyuk<sup>1</sup>, \*, G. V. Stoma<sup>1</sup>, and K. S. Bodrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

\*e-mail: [olgotour@rambler.ru](mailto:olgotour@rambler.ru)

Illustrated by the example of Moscow, taking into account the functional use of the territory, the relationship of ecosystem services with the ecological functions and properties of individual components of the landscape, the cost of park-recreational, residential and residential-transport elementary urban landscapes was determined for the first time. On the basis of the methodology previously proposed by the authors, a wide range of ecosystem services of landscapes, mainly associated with soils and their ecological state, was assessed. In an urbanized area, the cost of ecosystem services provided by the soil is 20-30 times higher than that of green spaces, and some soil services can be considered invaluable due to the difficulty of renewing this natural resource. The cost of ecosystem services of undisturbed soils of park and recreational landscapes is 1.5-2 times higher than that of anthropogenically transformed soils of residential and residential transport. The main contribution is made by services: “carbon sequestration”, “preservation of the genetic material of biota”, “filtration and accumulation of chemical elements in the ecosystem,” which can be considered as promising in the monetization of ecosystem services in urban landscapes. The decline in the cost of ecosystem services from park and recreational landscapes to residential and residential and transport landscapes is largely determined by the deterioration of the ecological state of soils. The benefits provided by the natural block of landscapes are comparable or are of greater value than the cultural ones. In relation to the all-Russian assessment, a feature of the urban area is a significant share in the cost of ecosystem services of the cultural block (on average 25%) and a decrease in regulatory (by 30%). The results of the economic assessment of ecosystem services of urban landscapes indicate an underestimation of natural components, a significant contribution of soil to the natural block, the need to search for simplified integral indicators of its state, and the presence of cost calculation problems. The methodological approaches and the estimated results obtained can be used in practical urban planning activities, can help to preserve the soil cover and to optimize the functioning of urban landscapes.

*Keywords:* ecosystem services, functions of urban landscapes, ecological state of soils, Albic Retisols, Urbic Technosols, Albic Luvisols