

УДК 628.4

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА УГЛЕРОДНЫХ ЕДИНИЦ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ

Евгений Валентинович Лебедев

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

proximus77@mail.ru

Светлана Николаевна Николаева

студент

svetik.nik.05@mail.ru

Нижегородский государственный агротехнологический университет

имени Л.Я. Флорентьева

г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье обосновывается необходимость и возможность разработки программного продукта (алгоритма), позволяющего на основании материалов ведомостей озеленения производить расчёт накопленных углеродных единиц и эмиссии кислорода деревьями, в том числе, в многолетней перспективе. В настоящее время на основе фундаментальных таксационных разработок в области учёта фитомассы и глубоких знаний физиологии растений разработаны методики, позволяющие рассчитывать накопление углерода (в том числе, в переводе на углеродные единицы) и эмиссию кислорода древесными растениями в онтогенезе. Эти наработки с успехом используются для инвентаризации углерода на лесных землях, но работы в области учёта депонирования углерода объектами городского озеленения пока единичны. Авторами предлагается на основе языка Python создать алгоритм, позволяющий методом итерации обрабатывать ведомость озеленения и на основе определённых ранее закономерностей получать значения накопления углеродных единиц и эмиссии

кислорода растениями различных древесных пород, высаженных в качестве объектов озеленения.

Ключевые слова: депонирование углерода, углеродные единицы, озеленение, алгоритмы, Python.

Разработка программы расчёта углеродных единиц для объектов городского озеленения является актуальной задачей в контексте глобальных экологических вызовов и законодательных требований, так как современные города являются основными источниками парниковых газов, в частности диоксида углерода. Городские насаждения (парки, скверы, аллеи, газоны, отдельно стоящие деревья) способны поглощать углекислый газ из атмосферы, то есть обладают ассимиляционным потенциалом.

В роли заинтересованных лиц могут выступать не только промышленные предприятия нефтегазовой промышленности, котельные, мусоросжигающие заводы, авиация, железные дороги, но и неофициальные сообщества жителей, различные инициативные группы, заинтересованные в озеленении общественных пространств, и даже администрация города (рисунок 1).

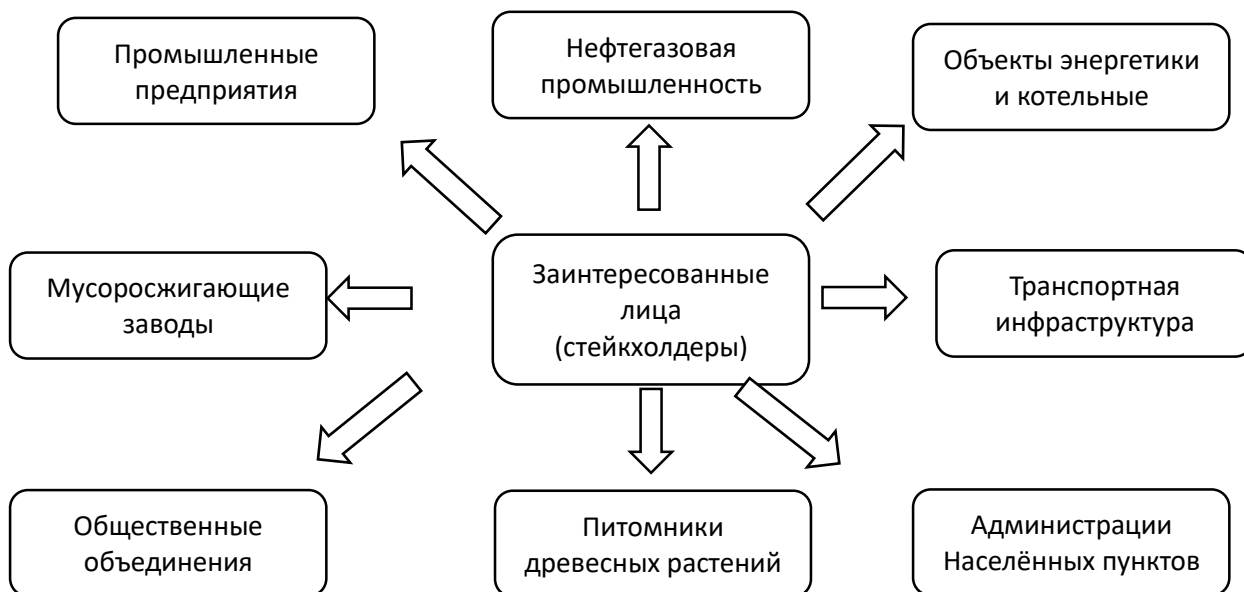


Рисунок 1 – Заинтересованные лица (стейкхолдеры) в создании программного продукта по расчёту углеродных единиц озеленительными насаждениями

С 2021 года в России действует Федеральный закон №296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» [16]. Он регламентирует создание реестра углеродных единиц, регистрацию климатических проектов и учёт операций с углеродными единицами. Углеродная единица равна одной тонне поглощённого или предотвращённого выброса углекислого газа. Городские

насаждения благодаря возможности поглощать углекислый газ могут стать не только экологическими, но и экономическими активами, если их вклад точно измерен, учтён и зарегистрирован.

Программы учёта поглощённых углеродных единиц могут стать частью системы «Умный город» и интегрироваться с ГИС, системами экомониторинга и платформами ESG-отчётности. Однако традиционные методы не уместны в рамках города из-за своей фрагментированности размещённости зелёных насаждений. Существующий метод расчёта по площади с помощью космоснимков имеет погрешность в $12,4 \pm 3,25\%$ [1].

Тем не менее, любые способы учёта депонированного (накопленного в фитомассе растений) углерода должны базироваться на основе методик по определению фитомассы (в том числе, подземной, без которых данные будут значительно занижены). И именно точность этих методик будет определять наши возможности по учёту депонированного углерода.

В последние годы на основе эколого-физиологического преобразования табличных данных фитомасс различных древесных пород [15] и результатов наших работ [4] были получены количественные данные депонирования углерода в разных возрастах, подкреплённые физиологическими параметрами (чистая продуктивность фотосинтеза и минеральная продуктивность корневых систем) для сосны [3, 11], лиственницы [2, 4, 8], берёзы [9], ясеня [6], ели [7], липы [10] и других древесных видов.

Надо учесть, что современные города являются легкодоступной средой для непосредственного наблюдения, измерения и цифровизации характеристик насаждений озеленения, в том числе, высот и диаметров деревьев. Метод, предложенный нами, использует непосредственно характеристики древостоя (состав, высота, диаметр, возраст). За счёт чего расчёт получается более точный. Расчёт в программе производится по наиболее точному на настоящее время алгоритму расчёта фитомассы и углерода.

В основу алгоритма для расчёта депонирования углерода, включая углеродные единицы, и эмиссию кислорода, будет положен принцип итерации,

позволяющий обрабатывать данные ведомости озеленения и использовать имеющиеся значения для нахождения искомых параметров по закономерностям депонирования углерода, определённым нами ранее и апробированным на городских насаждениях [12, 13].

Список литературы:

1. Агафонкина Е.А., Ляшонкова Е.В., Минеев А.А., Судоргина И.В. Определение площади озеленения с помощью общедоступных программных средств // Материалы VI Международного молодежного экологического форума: Материалы Форума, Кемерово, 16–17 ноября 2022 года / Под редакцией Т.В. Галаниной, М.И. Баумгартэна. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. С. 401.1-401.6.
2. Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Количественные показатели функционирования листового аппарата, корневой системы и биологическая продуктивность растений рода *Larix* на уровне организма в онтогенезе в условиях России // Агрехимия. 2014. № 12. С. 31-41.
3. Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Минеральное питание и биологическая продуктивность сосны обыкновенной в онтогенезе в условиях северной Евразии // Агрехимия. 2013. № 10. С. 20-29.
4. Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Функционирование листового аппарата, корневой системы и биологической продуктивности лиственницы сибирской на уровне организма в онтогенезе (на примере лиственничников Архангельской области) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 3 (363). С. 9-19.
5. Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Эколого-физиологические особенности реакции сосны обыкновенной на уровень плодородия почвы как показатель адаптации к условиям среды // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 6 (372). С. 92-103.
6. Лебедев Е.В. Биологическая продуктивность и минеральное питание ясеня обыкновенного в условиях северной Европы // Известия Саратовского

университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12. № 3. С. 93-100.

7. Лебедев Е.В. Влияние густоты насаждения на минеральное питание и биологическую продуктивность ели европейской в её онтогенезе // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 6 (38). С. 34-38.

8. Лебедев Е.В. Влияние типа лесорастительных условий на поглотительную деятельность корневой системы и биологическую продуктивность лиственницы сибирской на уровне организма в онтогенезе // Вестник КрасГАУ. 2013. № 1 (76). С. 68-74.

9. Лебедев Е.В. Продуктивность берёзы белой на уровне организма в онтогенезе в Европейской части России // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 4 (36). С. 18-22.

10. Лебедев Е.В. Продуктивность фотосинтеза и минеральное питание липы мелколистной на уровне организма в онтогенезе в Среднем Поволжье // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 4. С. 5-10.

11. Лебедев Е.В. Фотосинтез, минеральное питание и биологическая продуктивность древостоев разных бонитетов сосны обыкновенной в республике Беларусь в онтогенезе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. №4. С. 37-45.

12. Лебедев Е.В. Эколого-физиологические характеристики реакции древесных пород на уровне организма на изменение режима питания // дисс. доктора с.-х. наук / Архангельск, 2020. 368 с.

13. Лебедев Е.В., Николаева С.Н. Определение депонирования углерода и пылезадерживающей способности городских насаждений на примере микрорайона Щербинки II г. Нижнего Новгорода // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. № 3 (47) 2025. С. 31-37.

14. Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии // Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 763 с.

15. Федеральный закон №296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388992/

UDC 628.4

DEVELOPMENT OF A CARBON UNIT CALCULATION PROGRAM FOR URBAN LANDSCAPING

Evgeny V. Lebedev

doctor of agricultural sciences, professor

proximus77@mail.ru

Svetlana N. Nikolaeva

student

svetik.nik.05@mail.ru

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University

named after L.Ya. Florentyev

Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article substantiates the need and feasibility of developing a software product (algorithm) for calculating accumulated carbon units and oxygen emissions by trees, including over a long-term perspective, based on landscaping records. Currently, based on fundamental taxonomic research in phytomass accounting and a deep understanding of plant physiology, methods have been developed for calculating carbon accumulation (including in terms of carbon units) and oxygen emissions by woody plants during ontogenesis. These developments are successfully used for carbon inventories on forest lands, but work on accounting for carbon sequestration by urban landscaping is still rare. The authors propose creating an

algorithm based on Python that iteratively processes landscaping records and, based on previously identified patterns, derives values for carbon accumulation and oxygen emissions by various tree species planted as landscaping features.

Keywords: carbon sequestration, carbon units, greening, algorithms, Python.

Статья поступила в редакцию 01.11.2025; одобрена после рецензирования 20.12.2025; принята к публикации 29.12.2025.

The article was submitted 01.11.2025; approved after reviewing 20.12.2025; accepted for publication 29.12.2025.