

DOI <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-02.28>

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО
(QUÉRCUS RÓBUR) К АВТОТРАНСПОРТНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ**
THE STUDY OF ADAPTIVE CAPACITY OF OAK (QUÉRCUS RÓBUR)
TO MOTOR TRANSPORT POLLUTIONS

Кулакова Н.Ю., Колесников А.В., старшие научные сотрудники
Kulakova N.Y., Kolesnikov A.V., Senior Researchers

ФГБУН Институт лесоведения РАН, Московская область, Россия
Institute of Forest Science of Russian Academy of Sciences, Moscow region, Russia
E-mail: nkulakova@mail.ru, wheelwrights@mail.ru

Баранова Ю.А., Голубева М.В., магистранты
Baranov Y.A., Golubeva M.V., Post-graduate students

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» Москва, Россия
RUDN University, Moscow, Russia
E-mail: kirsche24@yandex.ru, bleckcat2007@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Выбор пород деревьев, пригодных для создания лесозащитных полос вдоль автомагистралей, должен базироваться на исследовании адаптационного потенциала растений к автотранспортному загрязнению. Использование комплексного подхода к оценке состояния деревьев дуба черешчатого в экосистемах разной степени загрязнения позволило определить эту породу как высоко толерантную к воздействию автотранспорта и легкорастворимых солей, поступающих в экосистемы при применении антигололёдных средств. Степень загрязнения экосистем определяли по содержанию в снежном покрове и в почве тяжёлых металлов и легкорастворимых солей, содержанию тяжёлых металлов в пыли, оседающей на листья. Показано, что содержание суммы неструктурных углеводов в ветвях деревьев в конце вегетационного периода и прирост ветвей в контрастных по загрязнению экосистемах были одинаковыми. Дуб способен переносить весеннее хлоридно-натриево-кальциевое засоление почв средней степени. При этом накопление ионов Na^+ до $0,41 \pm 0,13$ мг/г в листьях деревьев на засоленных почвах не приводит к изменению содержания в них калия. Одним из механизмов адаптации дуба черешчатого к засолению является увеличение содержания фракции дисахаров более чем в два раза относительно деревьев на слабозасоленных почвах.

ABSTRACT

The choice of tree species suitable for the creation of forest belts along highways, should be based on the study of adaptive capacity of plants to vehicle pollution. An integrated approach to the assessment of the condition of the trees of oak (*Quercus robur* L.) in ecosystems with various levels of contamination allowed to define this species as highly tolerant to the effects of vehicles and soluble salts, that incoming to the ecosystem when applying anti-icing reagents. The degree of contamination of the ecosystem were determined by the content heavy metals and soluble salts in the snow cover and soil, the content of heavy metals in dust deposited on leaves. It was shown that the content of total non-structural carbohydrates in the branches of the trees at the end of the vegetation period and the growth of the branches in contrast to the pollution of ecosystems was the same. Oak spring can carry medium degrees of sodium and calcium chloride soil salinity in spring. The accumulation of Na^+ ions to 0.41 ± 0.13 mg/g in leaves of trees on saline soils does not change the content of potassium. One of the mechanisms of adaptation of oak to salinization is the increase in the content of disaccharides fraction more than two times in compare to the trees on slightly saline soils.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Автотранспортное загрязнение; лесозащитные полосы; дуб черешчатый; неструктурные углеводы; легкорастворимые соли.

KEY WORDS

Transport pollution, windbreaks, oak, non-structural carbohydrates, soluble salt.

Автотранспортное загрязнение становится препятствием для создания жизнестойких древесных насаждений [7]. Поиск пород, способных существовать в условиях повышенного поступления поллютантов должен опираться на изучение потенциала, которым обладают растения для адаптации. Исследование процессов адаптации связано с изучением поведения неструктурных углеводов (NSC) в растениях. Участие NSC в процессах адаптации разнообразно. Пластические углеводы выполняют в растительных организмах запасающую, осмолитическую, транспортную и протекторную функции.

Известно, что воздействие автотранспортного загрязнения часто вызывает некрозы листьев, преждевременное их старение и дефолиацию [2, 24]. Одним из способов адаптации к уменьшению продолжительности жизни листьев является увеличение скорости их ротации и усиление побегообразования [26]. Для восстановления площади ассимилирующей поверхности требуется дополнительный, часто очень существенный, расход углеводов [33]. Крахмал интенсивно используется для репарации клеточных оболочек растений, испытывающих воздействие поллютантов [4]. Можно утверждать, что содержание пластических углеводов в тканях и органах растений характеризует потенциальную возможность растений к адаптации в неблагоприятных условиях урбанизированной среды.

Адаптационные процессы связаны с изменением состава NSC. Значительная часть насаждений вдоль автомагистралей приурочена к почвам, испытывающим весеннее засоление разной степени. Восстановление нормального градиента водного потенциала в растениях на засоленных почвах происходит в частности за счет гидролиза полимерных форм углеводов (неспецифическая ответная реакция растительных организмов на воздействия различной природы) и синтеза низкомолекулярных полисахаридов [20, 35]. Накапливаясь в цитоплазме, и работая как осмотики, они, кроме того, способствуют локализации токсичных одновалентных ионов в вакуолях [10], тормозят процессы свободнорадикального окисления [6]. Сахароза является важной транспортной формой углеводов во флоэме [16], особенно в отсутствие транспирации [19].

При исследовании поведения неструктурных углеводов необходимо учитывать различные параметры состояния деревьев, так как сложность адаптационных процессов не позволяет всегда однозначно трактовать поведение NSC в органах растений. Так, у деревьев худшего санитарного состояния отмечалось увеличение содержания неструктурных углеводов за счёт ингибирования их оттока [4, 17, 33]. В нашей работе, которая является первым этапом в исследовании толерантности дуба черешчатого к автотранспортному загрязнению, весной были выбраны деревья, которые находились в условиях очень сильного и среднего загрязнения, но жизненное состояние которых соответствовало первому баллу (наилучшее состояние) по шкале В.А. Алексеева [1].

В качестве маркёров загрязнения мы использовали тяжёлые металлы (ТМ), т.к., во-первых, это одна из наиболее вредных составляющих автотранспортных выбросов, и, во-вторых, поступление тяжёлых металлов в целом пропорционально поступлению агрессивных оксидов серы и азота. Ведущий механизм воздействия ТМ на растения – инактивация белков и других макромолекул, выполняющих каталитические и регуляторные функции. Тяжелые металлы оказывает токсическое действие на такие процессы как рост, развитие, фотосинтез, митоз, дыхание, поглощение воды, перенос электронов через мембраны и т.д. [18]. Степень ингибирования тяжелыми металлами

физиологических процессов в большой степени определяется концентрацией металла в окружающей среде и чувствительностью вида. Установленные значения ПДК для Zn, вычисляемые по уровню снижения урожайности для различных с/х культур [17] соответствуют 150–300 мг/кг; проявление хлороза листьев связывают с концентрацией цинка 300–500 мг/кг сухого вещества. Нормальной для с/х растений считается концентрация свинца 0,1–5 мг/кг в растении, критической – 10 мг/кг, фитотоксичной – более 60 мг/кг [17]. Влияние комплекса факторов на развитие и рост взрослых древесных растений делает затруднительной разработку ПДК для них.

Было множество попыток использовать растения как биоиндикаторы загрязнения почвы и воздуха в городах [25,28,31,34]. Аккумуляция тяжёлых металлов на поверхности листьев и коры в основном определяется степенью загрязнения атмосферы аэрозолями и пылью, но зависит от дождей, ветров и т.д. Концентрация тяжёлых металлов в тканях растений отражает как степень загрязнения почв подвижными формами тяжёлых металлов, так и способность данного вида к их накоплению. Поэтому для определения степени загрязнения экосистем лучше использовать комплексный подход.

Даже в условиях гумидного климата и промывного типа водного режима почв, для оценки загрязнения современных придорожных экосистем необходимо учитывать поступление и концентрацию в их компонентах легкорастворимых солей, попадающих в экосистемы из-за применения антигололёдных средств и отрицательно сказывающихся на состоянии насаждений [20].

Целью работы было сопряжённое исследование содержания неструктурных углеводов (NSC), тяжёлых металлов, ионов натрия и калия в органах дуба черешчатого и состояния деревьев в экосистемах разной степени автотранспортной нагрузки для выяснения адаптационных возможностей дуба черешчатого к автотранспортному загрязнению. Для индикации загрязнения в нашей работе использовались образцы растений, снега и почв, в которых поллютанты аккумулируются.

Предварительные исследования древостоев дуба черешчатого в Московской области показали, что состояние деревьев контролируется разнообразными факторами [14]. Одним из важных моментов является конкуренция между деревьями в насаждении. Для того чтобы среди прочих факторов вычленили воздействие поллютантов на состояние деревьев, необходимо было найти деревья, близкие по развитию кроны, т.е. находящиеся в равных условиях при конкуренции за свет. Важность этого условия показало проведенное нами ранее исследование [8, 30]: оказалось, что от типа развития кроны (узкокронный тип развития, зонтикообразный или раскидистый [9]) зависит содержание неструктурных углеводов в тканях и органах дуба. Необходимо было учитывать и возраст деревьев. Существует мнение, что с возрастом дерева запас NSC увеличивается и возрастает способность к восстановлению фотосинтезирующего аппарата [33]. Другие исследователи отмечают, что чем старше деревья, тем менее устойчивы они к стрессам [17].

Содержание и состав неструктурных углеводов в растениях одного вида зависят, прежде всего, от сезонной динамики процессов метаболизма. Особенно динамичен пул моно- и дисахаров [30]. Потенциальную способность дерева противостоять неблагоприятным факторам характеризует баланс между процессами ассимиляции и расходования углеводов после окончания вегетационного периода, когда процесс фотосинтеза отсутствует и расход углеводов минимальный.

В задачи работы входило изучение сезонной динамики содержания моно- и дисахаров, содержания сахаров и крахмала по окончании вегетационного периода в ветвях деревьев; содержание Pb, Zn в ветвях и листьях; Na и K в листьях дуба и оценка степени загрязнения автотранспортом экосистем с насаждениями дуба черешчатого. Исследованием были охвачены деревья старого генеративного онтогенетического состояния с раскидистым типом кроны. Велось наблюдение за их санитарным состоянием. Оценивался прирост ветвей в конце сезона вегетации, т.к.

интенсивность ростовых процессов – один из важнейших показателей устойчивости растений к различным стрессам [5, 12].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Были выбраны 2 участка (по 6 деревьев): в первом случае (пробная площадь №1) деревья росли в 2–3 метрах от магистрали (Свободный проспект, 55°75'в.д.; 37°82'с.ш.), во втором (пробная площадь №2) – примерно в 300 м от шоссе (Терлецкий парк, 55°77'в.д.; 37°82'с.ш.).

Для определения динамики моно и дисахаров в 2016 году было отобрано 72 растительных образца: по 12 (ветви) в марте (начало набухания почек), в мае (формирование зрелых листовых пластин), сентябре (начало осеннего окрашивания) и ноябре (конец листопада); 24 образца (ветви и листья) в июле (массовое появление некрозов листьев деревьев на Свободном проспекте). Каждый образец формировался из 5–6 ветвей тонкой фракции или из 20–25 листьев одного дерева. Содержание крахмала определялось в ветвях деревьев, отобранных в ноябре. Для оценки поступления поллютантов из атмосферы в экосистему в конце предыдущего зимнего периода отбирались пробы снега снегоотборником из всей толщи снежного покрова. Количество поллютантов в месяц учитывали исходя из времени сохранения снежного покрова. Всего было проанализировано 8 проб талой воды, по четыре на каждом участке. Почвенные образцы отбирали с глубины 0–5, 10–20 и 20–30 см, всего проанализировано 24 почвенных образца, из 8 прикопок, по 4 на каждой пробной площади. В 12 образцах листьев, отобранных в мае, определялось содержание Na и K, в 24 образцах листьев (12 образцов, протёртых ватой, смоченной в бидистиллированной воде и 12 не обработанных ничем) и в 12 образцах ветвей, отобранных в сентябре – содержание свинца и цинка.

Анализ поступления в почву загрязняющих веществ (по содержанию их в талой воде, полученной из проб снега) осуществлен согласно следующим методам: общая минерализация (сухой остаток) – ГОСТ 18164-72; кальций (Ca и Mg) – трилонометрическим способом ПНД Ф 14.1:2.95-97; натрий (Na) – пламенно-фотометрическим методом ПНД Ф 14.1:2:4.138-98; хлориды (Cl) – титриметрическим методом, ПНД Ф 14.1:2.96-97; сульфаты (SO₄) – ПНД Ф 14.1:2:4.157-99; свинец и цинк методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (Pb), – ПНД Ф 14.1:2:4.214-06; (Zn) – ПНД Ф 14.1:2:4.214-06.

Определение концентрации легкорастворимых солей в почве : Ca, Mg, Na, хлоридов, сульфатов произведено методами, аналогичными определению их в талой воде.

Определение значений pH почв – в водной суспензии при соотношении почва:вода 1:5.

Определение подвижных форм свинца и цинка в почве – методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии – ГОСТ 27593-88.

Определение свинца, цинка в тонких ветвях и листьях дуба черешчатого – методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии ГОСТ 29929.

Определение содержания моно и дисахаров в тонких ветвях и листьях дуба черешчатого по методу Соловьева [13].

Крахмал из органов и тканей извлекали хлорной кислотой по методу Пьючера, его содержание определяли по количеству образованной в результате кислотного гидролиза глюкозы глюкозооксидазным методом.

Определение Na и K в листьях проводилось в водной вытяжке из листьев при соотношении образец:вода 1:5 после 1-часового настаивания при температуре 45°С и 10-минутного центрифугирования при 3000 об/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Параметры загрязнения экосистем. Сравнение двух пробных площадей по количеству поступающих поллютантов показало значительные различия между ними: в

среднем за один зимний месяц поступление натрия на первой пробной площади было в 7 раз, хлоридов и кальция – в 4 раза, сульфатов и свинца – в 2 раза, цинка – в полтора раза выше, чем на второй (рис.1, А и Б), составляя соответственно 192 ± 26 ; 219 ± 34 ; 504 ± 87 ; 213 ± 52 ; $0,19\pm 0,14$; $1,3\pm 0,61$ мг/м². Вместе с тем, поступление поллютантов в обоих случаях было существенно больше, чем в лесу за городом, в Подмосковной Мещёре [15]. В снежном покрове, собранном с наиболее удалённой от магистрали второй площади, содержание кальция и нитратов примерно в 4 раза, а хлоридов и сульфатов – в 8 раз больше, чем в снежном покрове Мещёры (рис.1, А).

В соответствии с интенсивностью поступления поллютантов, оказались загрязнены почвы исследуемых экосистем. Высокое содержание свинца и цинка было зафиксировано в почвах обоих участков. На первой пробной площади содержание свинца и цинка было в 1,8–1,6 раз больше, чем на второй площади. В почве Свободного проспекта содержание цинка сверху вниз по почвенному профилю изменялось от 84,28 до 53,83 мг/кг почвы, в почве Терлецкого парка – от 45,92 до 31,75 мг/кг. В обоих случаях значения были выше ПДК для почв легкого механического состава (23 мг/кг). Содержание свинца в почве Свободного проспекта изменялось от 26,2 до 22,3 мг/кг, в почве Терлецкого парка – от 16,3 до 12,8 мг/кг, при значениях ПДК 6 мг/кг.

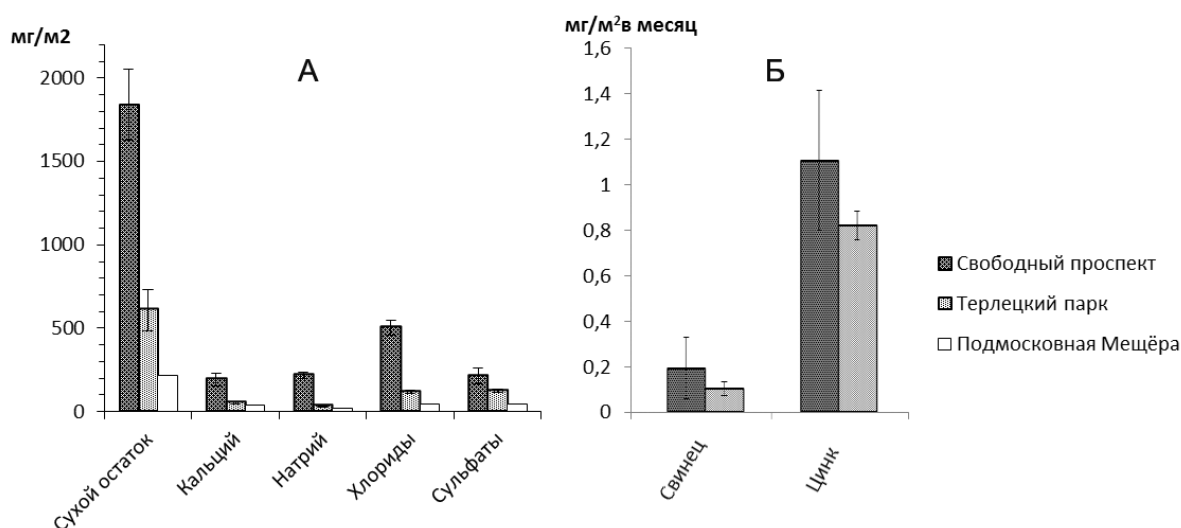


Рисунок 1 – Содержание поллютантов в снежном покрове (показаны доверительные интервалы при $n=6$, $P\leq 0,05$. Данные по Мещёре по [15].

По данным Никифоровой с соавторами [15], величина плотного остатка водной вытяжки в верхнем 15-см слое почв в районе Свободного проспекта колебалась весной 2010 года в пределах от 0,2 до 0,4%, что соответствует средней степени засоленности почв, сумма солей в среднем составляла 15 смоль/кг. В почвах Терлецкого парка плотный остаток составлял от 0,1 до 0,2% (слабое засоление), сумма солей около 5 смоль/кг. Состав солей, по данным этих авторов, хлоридно-натриево-кальциевый, что определяется составом применяемых антигололёдных средств. При анализе образцов, отобранных нами в июле, оказалось, что почвы пробных площадей были промыты от легкорастворимых солей. Отмечалось только повышенное содержание гидрокарбоната-иона в почве Свободного проспекта: (0,15–0,14 мг-экв./100 г в почве Терлецкого парка и 0,81–0,64 мг-экв./100 г в почве Свободного проспекта) и связанные с этим повышенные значения pH (6,81 и 6,12 на участке у дороги и в парке соответственно), что являлось косвенным признаком повышенного весеннего засоления почв на Свободном проспекте. Для фоновых почв Мещёры значения pH были 4,9, концентрация иона HCO_3^- – 0,18 мг-экв./100 г [15].

Загрязнённость атмосферы в летний период характеризовалась количеством тяжёлых металлов, поступающих с пылью и аэрозолями на поверхность листьев.

Количество поступающих свинца и цинка было рассчитано как разность между данными, полученными при анализе чистых и необработанных листьев. Из табл. 1 видно, что с пылью и аэрозолями, аккумулирующимися на листьях деревьев у дороги, поступало в 1,6 раза больше свинца и цинка, чем в парке.

Таблица 1 – Содержание цинка и свинца в ветвях и листьях дуба черешчатого, мг/кг абсолютно-сухого веса (показаны доверительные интервалы при $n=6$, $P \leq 0,05$)

Элемент	Ветви		Листья		Листья чистые		Пыль	
	С.п.	Т.п.	С.п.	Т.п.	С.п.	Т.п.		
Zn	989±171	1241±151	1167±230	992±126	617±150	641±55	550	351
Pb	10,50±5,05	7,16±3,22	23,38±6,74	17,62±5,08	10,75±3,32	9,64±2,78	12,63	7,98
Растение/ почва	Zn	12	27	14	22	7	14	
	Pb	0,40	0,45	0,90	1,10	0,41	0,60	

Содержание тяжёлых металлов в листьях и ветвях дуба черешчатого. Содержание свинца в листьях, с которых удалили пыль, на двух площадках было примерно одинаковым и составляло около 10 мг/кг сухого образца (табл.1). Содержание свинца в не обработанных водой листьях у дороги и в парке было соответственно в 2,3 и 1,8 раз выше, чем в чистых. В необработанных образцах листьев концентрация свинца была существенно выше, чем в образцах ветвей, возможно из-за большей площади поверхности, аккумулирующей пыль. В необработанных образцах листьев и ветвей деревьев у дороги содержание свинца было немного выше, чем на пробной площади в парке (табл.1), но разница не подтверждалась статистически.

Содержание цинка в чистых листьях на двух площадках было примерно одинаковым, несколько выше критических значений [17], составляя 617±150 и 641±55 мг/кг образца соответственно. Статистически не достоверны были и отличия между содержанием цинка в необработанных ветвях и листьях деревьев на разных пробных площадях и между концентрацией цинка в листьях и ветвях.

Содержание свинца в обработанных листьях дуба было существенно ниже, чем в почве. Коэффициент накопления свинца в растениях (отношение содержания свинца в растении к содержанию его в почве) составлял 0,4 и 0,6 на участках у дороги и в парке. Это соответствует данным о том, что свинец мало подвижен в растениях и аккумулируется в основном в корнях [23, 29]. Содержание Zn напротив, было выше в листьях дуба, чем в почве (в 7 и в 14 раз на первой и второй пробных площадях соответственно). В Терлецком парке коэффициент накопления цинка в листьях дуба в 2 раза, а свинца в 1,5 раза выше, чем на участке у автотрассы. Это связано, вероятно, с более низкими значениями pH в почве Терлецкого парка, способствующими большей подвижности тяжёлых металлов в почве [17].

Таким образом, несмотря на существенные различия в поступлении и аккумуляции тяжелых металлов в почве, их концентрация в ветвях и листьях дуба мало различалась на разных площадках. В листьях и ветвях дуба не накапливается свинец, относительно его содержания в почве. Дуб черешчатый оказался способен к аккумуляции цинка в ветвях и листьях, и этот процесс контролировался, очевидно, значениями pH почвы.

Содержание Na и K в листьях дуба черешчатого. Дуб черешчатый является солеустойчивой породой. Наши исследования [8, 30] показали, что слабое смешанное засоление до 10 ммоль/100 г почвы с преобладанием в составе солей сульфатов кальция и магния, увеличивающее физиологическую сухость почв, не препятствует развитию дуба, но может сказываться на санитарном состоянии насаждений, особенно

в засушливые годы. Засоление почв более 10 ммоль/100 г почвы с доминированием ионов натрия, карбонат- и бикарбонат-ионов, является пограничным для распространения дуба на водоразделах в аридных условиях юга лесостепной зоны (Теллермановский стационар ИЛАН РАН).

Хлориды также токсичны для многих древесных растений. По данным С.Д. Эрперт, для корней вяза токсичным является содержание иона Cl^- 2 мг экв/100 г почвы [21].

Для уменьшения водного потенциала растения могут поглощать из почвы натрий, токсичность которого проявляется в хлорозах и некрозах листьев, их усыхании, сокращении периода роста и площади листа [11].

Способность деревьев дуба исследуемых нами экосистем выдерживать среднее засоление с преобладанием хлоридов натрия, объясняется, видимо, промывным режимом почв и связанной с этим непродолжительностью периода засоления. Вместе с тем, выявлена способность дуба к накоплению натрия в листьях в условиях засоления почвы. В образцах листьев дуба, собранных в мае на пробной площади у дороги, отмечается повышение содержания натрия относительно образцов, отобранных в Терлецком парке – $0,41 \pm 0,13$ и $0,03 \pm 0,03$ мг/г соответственно. Накопление натрия не сказывалось на поглощении растениями калия. Концентрация калия была одинаковой в листьях деревьев обеих площадок и составляла $1,26 \pm 0,03$ и $1,25 \pm 0,02$ мг/г на первой и второй площадках соответственно.

Содержание неструктурных углеводов в ветвях и листьях дуба черешчатого. Содержание суммы ди- и моносахаров в ветвях дуба черешчатого изменялось от 28,2 до 140,5 мг/г у деревьев в Терлецком парке и от 40,2 до 128,5 мг/г у деревьев на Свободном проспекте (рис.2). Колебания содержания суммы сахаров в ветвях объясняются сезонным характером процессов метаболизма: минимальные значения в мае связаны с развитием листьев и побегов, а максимальные в ноябре – с резким похолоданием. Увеличение концентрации сахаров в холодный период в тканях и органах деревьев отмечается многими авторами [3, 6, 32]. В этот период сахара играют протекторную роль, связывая воду в клетках и предохраняя их от разрушения.

Литературные данные по содержанию сахаров в деревьях дуба очень ограничены. В ветвях дуба скального в Швейцарии содержится близкое количество сахаров – 40–50 мг/г в течение практически всего периода вегетации, кроме апреля. К этому месяцу приурочены минимальные значения – менее 20 мг/г сахара [27]. Во Франции в ветвях дуба отмечались значения от 20 до 40 мг/г [22].

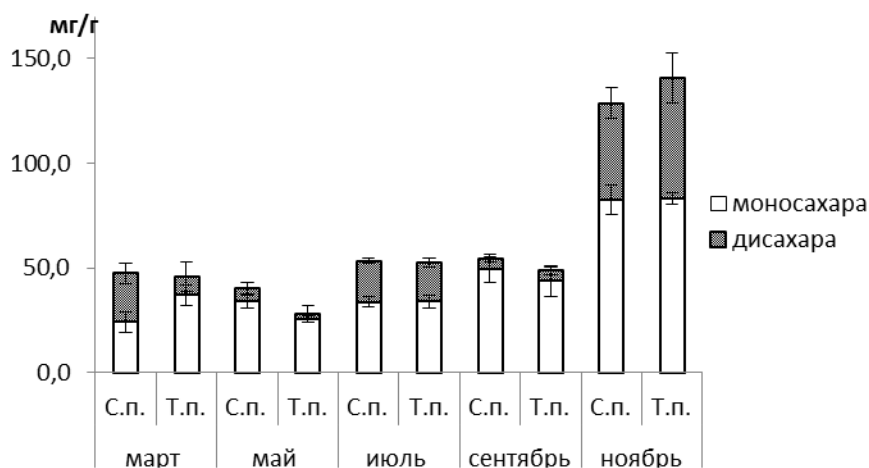


Рисунок 2 – Сезонная динамика содержания моно- и дисахаров в ветвях дуба черешчатого, мг/г сухого веса образца (показаны доверительные интервалы при $n=6$, $P \leq 0,05$)

В Теллермановском лесничестве наблюдались существенно более высокие значения содержания сахаров в мае после распускания и роста листьев (около 80 мг/г

[8], что связано, видимо, с благоприятными условиями метаболизма в этот период – достаточным запасом влаги в почве и высокой солнечной инсоляцией).

Сравнение двух участков между собой показало весьма близкие значения суммы моно- и дисахаров в ветвях дуба (рис.2). Основные различия приходятся на май: несколько меньшее содержание сахаров в ветвях деревьев Терлецкого парка по сравнению дубами на Свободном проспекте, связано, вероятно, с менее интенсивным приростом деревьев у магистрали, на почвах, которые в мае, ещё не промыты от солей и с необходимостью привлечения сахаров для поддержания высокого осмотического давления. В период других измерений достоверных различий между участками не наблюдалось.

Определение сахаров в листьях, собранных в мае не проводилось, т.к. на обоих участках на листьях было много тли. В листьях, собранных в июле, содержание суммы сахаров было примерно одинаковым на участках у дороги и в парке: соответственно 71,6 и 74,2 и выше, чем в ветвях. Измерения сахаров в листьях деревьев дуба Теллермановского лесничества показали гораздо более высокие значения (100–170 мг/г образца) [8]. Вероятные причины этого – необходимость поддерживать высокое осмотическое давление в более аридных условиях и усиление процессов ассимиляции при более высокой солнечной инсоляции.

Соотношение фракций моно- и дисахаров в ветвях деревьев в весенний период на двух участках различалось (рис.3). И относительное, и абсолютное содержание дисахаров в марте (начало сокодвижения) и в мае в образцах деревьев на Свободном проспекте было выше, чем в Терлецком парке, правда достоверность различий из-за сильного варьирования показателей отмечается только в марте. В июле, сентябре и ноябре подобной тенденции не наблюдается. Увеличение фракции дисахаров отмечалось у деревьев дуба, испытывающих водный дефицит на слабозасоленных почвах [8]. Очевидно, увеличение доли дисахаров связано с адаптацией дуба черешчатого к воздействию засоления, с поддержанием низкого водного потенциала.

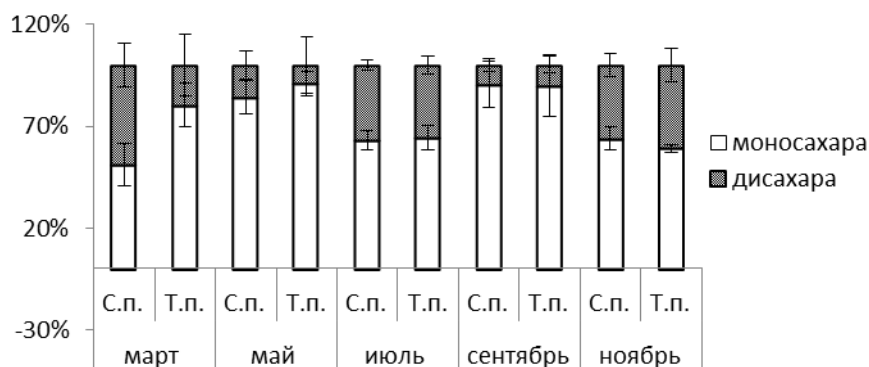


Рисунок 3 – Сезонная динамика содержания моно- и дисахаров в ветвях дуба черешчатого, % от суммы (показаны доверительные интервалы при $n=6$, $P \leq 0,05$)

Сумма моно-, дисахаров и крахмала, измеренная в ноябре, была примерно одинаковой на разных участках. Она равнялась $136,26 \pm 9,22$ мг/г образца в ветвях деревьев на Свободном проспекте и $146,38 \pm 12,62$ – в Терлецком парке. Доля крахмала составляла около 6% от суммы NSC в ветвях деревьев на Свободном проспекте и около 4% в ветвях деревьев Терлецкого парка (рис. 4).

При сравнении наших данных с данными [22], полученными в октябре, выявляются принципиальные различия в составе углеводов: при близких значениях NSC (около 135 мг/г) содержание крахмала составляло более 70%. Такие различия объясняются, безусловно, существенно более теплой погодой во время взятия образцов во Франции. Имеющиеся данные по содержанию NSC и крахмала в холодный период в Швейцарии [27] тоже относятся к октябрю. В этот период здесь наблюдались минимальные значения суммы NSC за вегетационный период (около 100

мг/г), содержание крахмала составляло около 25%. Это различие с данными, полученными нами, мы также связываем с погодными условиями.

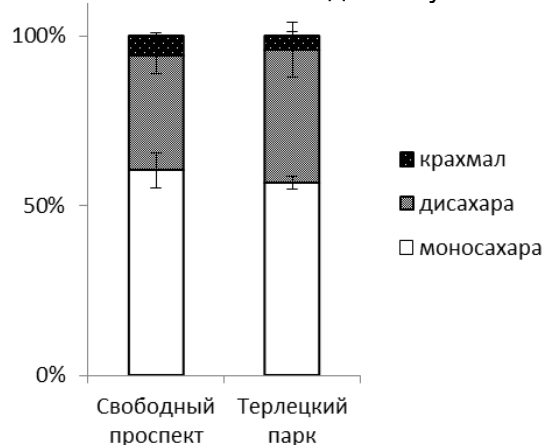


Рисунок 4 – Содержание NSC в ветвях деревьев дуба черешчатого в ноябре (показаны доверительные интервалы при $n=6$, $P \leq 0,05$)

Примерно одинаковое содержание суммы NSC, дисахаров и моносахаров в ветвях деревьев дуба старого генеративного онтогенетического состояния с раскидистым типом кроны, произрастающих в контрастных по загрязнению условиях, свидетельствует о высоком потенциале адаптации этих деревьев к загрязнению.

Состояние деревьев дуба черешчатого на исследуемых участках. Визуально состояние деревьев оценивалось в мае, июле, августе. Различия были отмечены только в состоянии листьев. В мае состояние листьев было одинаковым. Листовые пластины имели яркую зелёную окраску, не было отмечено некроза или хлороза листьев ни на одном из участков. В июле поражение некрозом листьев у деревьев на участке у дороги составило не более 10% от площади листовой поверхности, в августе – 25–35%, у деревьев Терлецкого парка некроз листьев в июле практически отсутствовал, в ноябре некротизированные ткани не превышали 5–15% от площади листовой поверхности. Прирост ветвей, измеренный в ноябре, у деревьев Терлецкого парка составил 38 ± 12 см, у деревьев Свободного проспекта – 32 ± 14 см. Разница между участками при $P=0,95$ и $n=6$ незначительна. Размер листовых пластин также не различался на двух участках.

Негативное влияние автотранспортного загрязнения на санитарное состояние исследуемых деревьев выразилось только в увеличении площади некротизированных тканей листьев на участке сильного автотранспортного загрязнения относительно участка с меньшей автотранспортной нагрузкой.

ВЫВОДЫ

Выявлена высокая толерантность деревьев дуба черешчатого старого онтогенетического состояния с раскидистым типом кроны к условиям интенсивного автотранспортного загрязнения. Об этом свидетельствуют примерно одинаковое содержание NSC в ветвях деревьев дуба на разных по степени загрязнения участках при близких показателях роста ветвей деревьев.

Дуб черешчатый хорошо адаптирован к кратковременному весеннему хлоридно-натриево-кальциевому засолению почв. Одним из механизмов адаптации дуба черешчатого к засолению является увеличение содержания фракции дисахаров, играющих роль осмолитиков и протекторов от воздействия ионов легкорастворимых солей.

Близкое содержание Pb и Zn в листьях дуба у деревьев с различным проявлением некроза листьев, свидетельствует о слабом влиянии содержания этих элементов на формирование некротизированных тканей. Предположительно такое

воздействие оказывают оксиды серы и азота, поступающие в атмосферу примерно пропорционально выбросам тяжёлых металлов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – №4. – С. 51–57.
2. Бухарина И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварническая, К.Е. Ведерников // Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
3. Галибина Н. А. Динамика неструктурных углеводов в органах и тканях двухлетних сеянцев *Betula pendula* и *Betula pubescence* в период вегетации / Н.А. Галибина и др. // Труды Карельского научного центра РАН. – 2014. – №5. С. 108–116.
4. Галибина Н.А. Клеточная стенка хвои деревьев сосны обыкновенной и ели сибирской в условиях азротехногенного загрязнения : дис. / Н.А. Галибина // Петрозаводск : РАН. Карел. науч. центр. Ин-т леса, 2003.
5. Гончарова Э.А. Стратегия диагностики и прогноза устойчивости сельскохозяйственных растений к погодно- климатическим аномалиям // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – №1. – С. 24–31.
6. Дерябин А. Н. и др. Зависимость формирования холодоустойчивости у растений *in vitro* от концентрации сахарозы в среде выращивания // Вестник Мордовского университета. – 2011. – №4. – С. 200–206.
7. Егоров А.А. Проблемы совершенствования современного ассортимента древесных растений в городских зелёных насаждениях Санкт-Петербурга / А.А. Егоров и др. // Известия Иркутского государственного Университета. Серия «Биология. Экология». – 2011. – Т. 4. – №2. – С. 23.
8. Каплина Н. Ф. Содержание неструктурных углеводов в органах дуба черешчатого в условиях южной лесостепи европейской части России / Н.Ф. Каплина, Н.Ю. Кулакова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – №4 (28). – С. 84–97.
9. Каплина Н.Ф., Морфология крон и состояние дуба черешчатого в средневозрастных насаждениях лесостепи / Н.Ф. Каплина, Н.Н. Селочник // Лесоведение. – 2015. – №3. – С. 32–42.
10. Кафи М. Содержание углеводов и пролина в листьях, корнях и апексах пшеницы, устойчивых и чувствительных к засолению / М. Кафи, В.С. Стюарт, А.М. Борланд // Физиология растений. – 2003. – Т. 50. – №2. – С. 174–182.
11. Кулагин А.А. Экспериментальная оценка повреждений ассимиляционных органов тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) ионами различных металлов // Лесной вестник. – 2003. – №5. – С. 15–20.
12. Кухта А. Е. Линейный прирост деревьев как индикатор состояния среды / А.Е. Кухта // Сибирский экологический журнал. – 2003. – Т. 10. – №6. – С. 767–771.
13. Минеев В. Г. и др. Практикум по агрохимии // М.: изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
14. Мучник Е.Э. и др. Методология оценки и прогноза состояния дубрав в условиях антропогенных воздействий (на примере Московского региона) // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2014. – Т. 18. – №6. – С. 216–225.
15. Никифорова Е.М. Мониторинг засоления снега и почв Восточного округа Москвы противогололедными смесями / Е.М. Никифорова, Н.Е. Кошелева, Д.В. Власов // Фундаментальные исследования. – 2014. – №11-2. – С. 340–347
16. Новицкая Л.Л. Транспорт и запасание сахаров во флоэме *Betula pendula* Roth var. *Pendula* и var. *Carelica* / Л.Л. Новицкая, Н.А. Галибина, К.М. Никерова // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2015. – №11.
17. Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения // Улан-Удэ: Изд-во Бурятского науч. центра СО РАН, 2006.
18. Титов А.Ф. Тяжелые металлы и растения / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова // Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014.

19. Толкач О.В. Влияние запасных питательных веществ на формирование водопроводящих путей у березы повислой (*Betula pendula* Roth) / О.В. Толкач // Вестник Московского государственного университета леса –Лесной вестник. – 2008. – №3. – С. 88–98.
20. Шевякова Н.И. и др. Причины и механизмы гибели зеленых насаждений при действии техногенных факторов городской среды и создание стресс-устойчивых фитоценозов // Вестник Московского государственного университета леса–Лесной вестник. – 2000. – №6. – С. 25–33.
21. Эрперт С.Д. Корневые системы некоторых древесных растений в условиях больших палин северо-западной части Прикаспийской низменности / С.Д. Эрперт // Тр. Института леса АН СССР. – 1955. – Т. 25. – С. 36–74.
22. Barbaroux C. Distribution of above-ground and below-ground carbohydrate reserves in adult trees of two contrasting broad-leaved species (*Quercus petraea* and *Fagus sylvatica*) / C. Barbaroux, N. Bréda, E. Dufrêne // New Phytologist. – 2003. – Vol. 157. – №3. – P. 605–615.
23. Baycu G. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul / G.Baycu, D. Tolunay, H. Özden, S. Günebakan // Environmental pollution. – 2006. – Vol. 143. – №3. – P. 545–554.
24. Bignal K.L. Ecological impacts of air pollution from road transport on local vegetation / K.L. Bignal et al. // Applied Geochemistry. – 2007. – Vol. 22. – №6. – P. 1265–1271.
25. Furlan C.M. Effects of initial climatic conditions on growth and accumulation of fluoride and nitrogen in leaves of two tropical tree species exposed to industrial air pollution / C. M. Furlan, M. Domingos, A. Salatino // Science of the total environment. – 2007. – Vol. 374. – №2. – P. 399–407.
26. Gratani L. et al. Correlation between leaf age and other leaf traits in three Mediterranean maquis shrub species: *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia* and *Cistus incanus* // Environmental and experimental botany. – 2000. – Vol. 43. – №2. – P. 141–153.
27. Hoch G. Nonstructural carbon compounds in temperate forest trees / G. Hoch, A. Richter, C. Körner // Plant, Cell & Environment. – 2003. – Vol. 26. – №7. – P. 1067–1081.
28. Ilić, I. Optimization of heavy metals total emission, case study: Bor (Serbia) / I. Ilić, D. Bogdanović, D. Živković, N. Milošević, B. Todorović // Atmospheric Research. – 2011. – Vol. 101 (1). – P. 450–459.
29. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, third edition / A. Kabata-Pendias, H. Pendias // CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2001.
30. Kulakova N. et al. Determination of stock carbohydrates in trees tissues and organs at estimating the conditions of forest-steppe oak stands of the European Russia // Forest Change 2014. International conference of IUFRO unit 4.02.00 on Forest Cover Change. (Freising, Germany, 2–4 April, 2014). Series of Conference Papers. Zentrum Wald Forst Holz, Weihenstephan, Germany, 2014. – №4. – P. 16.
31. Minganti V. The bark of holm oak (*Quercus ilex*, L.) for airborne Cr (VI) monitoring / V. Minganti et al // Chemosphere. – 2015. – Vol. 119. – P. 1361–1364.
32. Percival G.C. The influence of carbohydrates, nitrogen fertilisers and water-retaining polymer root dips on survival and growth of newly transplanted bare-rooted silver birch (*Betula pendula* Roth.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) / G.C. Percival, S. Barnes // Arboricultural Journal. – 2007. – Vol. 30. – №3. – P. 223–244.
33. Sala A. Carbon dynamics in trees: feast or famine? / A. Sala, D.R. Woodruff, F.C. Meinzer // Tree physiology. – 2012. – №32. – P. 764–765.
34. Sawidis T. et al. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities // Environmental Pollution. – 2011. – Vol. 159. – №12. – P. 3560–3570.
35. Tarczynski M.C. Stress protection of transgenic tobacco by production of the osmolyte mannitol / M.C. Tarczynski et al // Science – New York Then Washington. – 1993. – Vol. 259. – P. 508–509.