

УДК 634.03.30

DOI: 10.31040/2222-8349-2021-0-3-5-10

**СОСТОЯНИЕ И ВОДНЫЙ ДЕФИЦИТ ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО  
В УСЛОВИЯХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
СТЕРЛИТАМАКСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА**

© Р.Х. Гиниятуллин, А.Ю. Кулагин

Представлены материалы по водному дефициту листьев тополя бальзамического в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра. Объектом исследований были тополявые насаждения, расположенные на различном удалении от промышленных предприятий г. Стерлитамака. В результате обнаружено, что в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра в полдень с повышением температуры и уменьшением относительной влажности воздуха расход влаги увеличивается у тополя бальзамического. Максимальный водный дефицит – в дневное время с 13 до 15 ч. У деревьев в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра в ночные часы расход воды не покрывается ее поступлением, поэтому на следующий день утренние часы начинались с некоторым водным дефицитом. В результате проведенных исследований установлено, что в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра с ухудшением жизненного состояния и с понижением доли поглощающих корней тополя бальзамического отмечаются значительные изменения показателей водного дефицита.

Ключевые слова: водный дефицит, тополь бальзамический, категория жизненного состояния, поглощающие корни, Стерлитамакский промышленный центр.

**Введение.** Вода является основной составной растительных организмов [1]. В условиях промышленного загрязнения у деревьев нарушается водный режим. Формирование водного дефицита в растительном организме происходит как в течение суток, так и в вегетационный период [2]. Значительный недостаток воды в воздухе и почве тормозит рост и развитие растений и снижает продуктивность [3]. Растения промышленных территорий зачастую оказываются в сложных и даже критических условиях водообеспечения, которые сопровождаются воздействием на них техногенных загрязнителей различной природы [4].

Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), произрастающий в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра, испытывает недостаток влаги на фоне влияния загрязнения. Тополь бальзамический широко используется в озеленении г. Стерлитамака в парках, скверах, санитарно-защитных зонах ряда промышленных предприятий. Исследований физиологического

состояния тополя бальзамического в условиях промышленного загрязнения довольно мало в современной научной литературе. Поэтому целью наших исследований явилось изучение водного дефицита листьев тополя бальзамического в утренние, полуденные и послеполуденные часы, а также оценка жизненного состояния и формирования корневых систем древесных растений, произрастающих в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля.

**Материалы и методы.** Климат района характеризуется континентальностью и недостаточным увлажнением. Средняя годовая температура 2.6–2.8 °С. Среднее годовое количество осадков составляет 449–469 мм [5]. Исследования проводились в тополявых насаждениях, расположенных на различном удалении от промышленных предприятий г. Стерлитамака и в зоне условного контроля. Постоянная пробная площадь (ППП) №1 имеет размер 18×50 м,

ГИНИЯТУЛЛИН Рафак Хизбуллинович – д.с.-х.н., Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН,  
e-mail: grafak2012@yandex.ru

КУЛАГИН Алексей Юрьевич – д.б.н., Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН,  
e-mail: coolagin@list.ru

находится в промышленной зоне города в непосредственной близости от источников нефтехимического и химического загрязнения производств «Сода», «Каустик» АО «БСК», АО «Каучук», примыкающего к нему Стерлитамакского нефтехимического завода (северная часть города). Насаждения тополя бальзамического на ППП №2 (в зоне условного контроля) размером 20×50 м находятся в 20–25 км от источника загрязнения. Лесные культуры тополя бальзамического – посадки 1963 г. В полевых условиях для определения водного дефицита применяли методику Catsky (1960) [6]. В условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра пробы листьев и верхушечных вегетативных годичных побегов брали из верхней, средней и нижней частей кроны древесных растений со стороны источника загрязнения с помощью секатора на шесте. Первое взвешивание проводили сразу после срезания. Отделенные от растения листья после взвешивания ставили во влажную камеру чешуйками в воду. А второе взвешивание листьев производили через 120 мин. В летние месяцы (июнь, июль, август) в листьях у здоровых и ослабленных растений отмечался достаточно высокий водный дефицит. Содержание воды в листьях определяли в утренние часы (M1) и в полуденные (M2), разница в этих показателях  $M1 > M2$  за определенный период времени указывала на отрицательный водный баланс. Убыль воды в дневные часы ( $M1 - M2$ ) – водный дефицит, который выражается в процентах от общего содержания воды в листьях [7].

Расход влаги зависит прежде всего от ее количества в почве. Поэтому определение влажности почвы под насаждениями имеет большое значение. Для определения влажности почвы применяли методику А.Ф. Вадюнина и др., (1986) [8]. Оценку жизненного состояния деревьев определяли по методике В.А. Алексеева (1990) [9]. Исследование корневых систем тополя бальзамического проводили методом количественного учета – методом монолитов [10].

Исследования проведены в вегетационные периоды 2010–2018 гг., которые различались по своим погодным условиям. Лето 2011, 2013, 2014, 2015 гг. характеризовалось повышенным количеством осадков. Вегетационные периоды 2010, 2012, 2016, 2018 гг. отличались малым количеством осадков и высокой температурой воздуха.

**Результаты и их обсуждение.** Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) относится к роду *Populus* L. – Тополь, семейства *Salicaceae* Mirbel. – Ивовые.

Нами в течение ряда лет проводилось определение водного дефицита у тополя бальзамического в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК).

Исследуя на одних и тех же объектах в июне, июле, августе 2010, 2012, 2016, 2018 годов выяснилось, что утренний водный дефицит составляет с 9.00 до 11.00 ч у тополя бальзамического от 15.5 до 17.6%. Самый сухой, жаркий месяц был в июле 2010 г. Средняя влажность воздуха составила всего 36–38%. В 2012, 2016, 2018 гг. июль и август были довольно сухими. В июле и августе относительная влажность воздуха в полуденные часы падала до 26–30%, а температура поднималась, до 28–32°C. Самый сухой август был в 2017 г. Средняя температура воздуха составила 25.8°C. Необходимо отметить, что полученные данные, отражающие величину показателя водного дефицита в листьях древесных растений в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля, неоднозначны. На ППП №1 деревья в относительно хорошем состоянии также имеют достаточно высокие величины утренних значений водного дефицита. Результаты полуденных значений водного дефицита в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ у тополя бальзамического достигает от 23.4 до 29.1% и превышает от нормы на 10–16%. А в зоне условного контроля водный дефицит листьев тополя выше от нормы на 5–6% и составляет – 19.3%. Видимо, в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ корни у тополя бальзамического не успевают покрывать расход воды на транспирацию, интенсивность транспирации которой в полуденные часы сильно возрастает. Исследования водного дефицита тополя бальзамического в той или иной степени в разные годы исследований является более высоким, чем в зоне условного контроля (рис. 1).

Согласно данным О.А. Вербицкой (2011) [4], одной из причин увеличения значений водного дефицита у растений промышленной площадки является снижение содержания общей воды, не обеспечивающее должное количество влаги для нормального протекания физиолого-биохимических процессов, что и влечет за собой повышение водного дефицита.

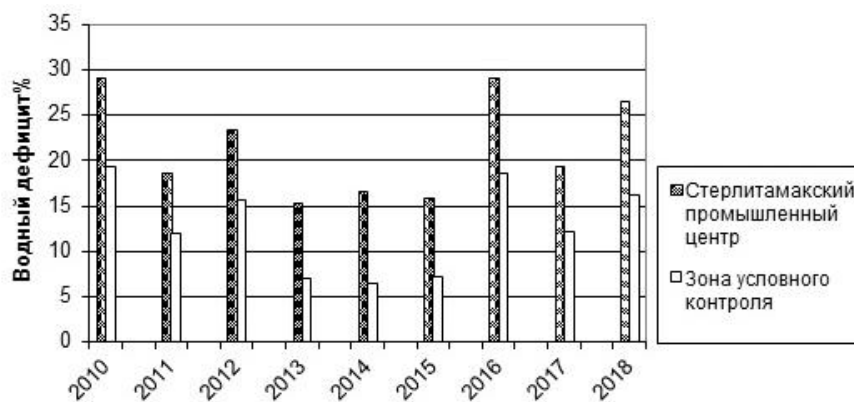


Рис. 1. Водный дефицит у тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) на ППП №1 и в зоне условного контроля (ЗУК) на ППП №2

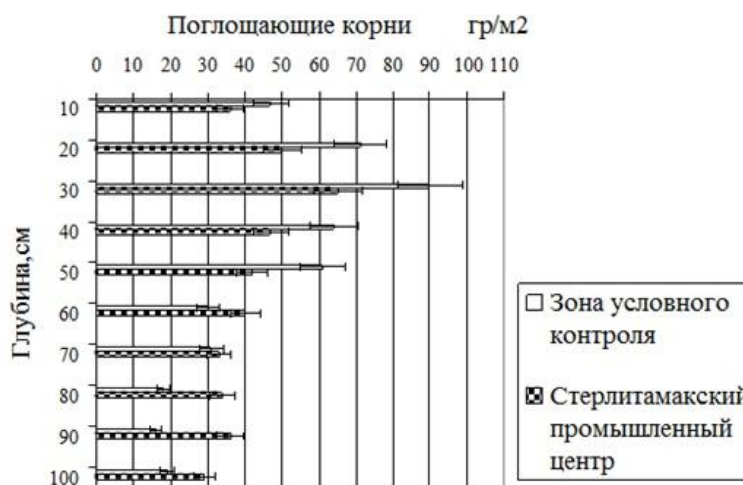


Рис. 2. Насыщенность почвы поглощающими корнями тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

В августе 2010, 2012, 2016, 2018 гг. в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1 полуденный водный дефицит у тополя достигал от 23.4 до 29.1% всей содержащейся воды, что указывает на отрицательный характер водного баланса. У тополя бальзамического в полдень с повышением температуры и уменьшением относительной влажности воздуха расход влаги увеличивается, достигая максимального водного дефицита в дневное время в 13–15 ч.

В вечерние часы, в 17–19 ч, водный дефицит у тополя бальзамического уменьшается. В ночные часы транспирация почти отсутствует, создавшийся водный дефицит компенсируется поступлением воды из почвы через корни растений. Это может наблюдаться только тогда, когда в почве имеется доступная для растения влага [7]. Однако в июле, августе 2010, 2012,

2016, 2018 гг. в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1 в утренние часы водный дефицит у тополя отмечен выше нормы и составил от 14.6 до 18% а в ЗУК на ППП №2 в пределах 12–13%. Видимо, в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1 изученных деревьев в ночные часы расход воды не покрывается ее поступлением, поэтому следующий день начинается с некоторым водным дефицитом. В урбанизированной территории это явление можно рассматривать как показатель уменьшения почвенной влаги. Влажность почвы в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1 в июле–августе в 2010, 2012, 2016, 2018 гг. в верхнем слое почвы от 0 до 20 см составляет всего 14–15%. В зоне условного контроля в верхнем слое почвы от 0 до 20 см составляет в среднем 19.8–21.4%.

При уменьшении влажности почвы вода становится все менее доступной, так как ее потенциал уменьшается, а сопротивление ее передвижению по направлению к корням повышается [3].

Нами также исследованы показатели водного дефицита тополя бальзамического во влажные 2011, 2013, 2014, 2015, 2017 гг. в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля. Данные, представленные на рис. 1, показывают, что деревья в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1 и в ЗУК на ППП №2 во влажные годы испытывают значительно меньший водный дефицит по сравнению с сухими годами. В 2011, 2013, 2014, 2015 гг. июнь, июль и август были довольно влажными. Во влажные периоды относительная влажность воздуха в полуденные часы падали до 70–85%, а температура воздуха поднималась до 18–20°C.

Влажность почвы в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля в эти годы в верхнем слое почвы от 0 до 20 см составляет 28–34%. В условиях полиметаллического загрязнения СПЦ водный дефицит у тополя достигает в среднем от 15.8 до 19.2%. В зоне условного контроля водный дефицит тополя в полуденные часы еще ниже, чем в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ. Причиной изменений величины водного дефицита растений в эти годы, видимо, являются изменения погодных условий (температура, влажность воздуха) в дневное время. Также большую роль играет влажность почвы. Расход растениями влаги зависит прежде всего от ее количества в почве.

В условиях полиметаллического загрязнения СПЦ зависимость водного дефицита у тополя бальзамического от влажности почвы хорошо прослеживается в июле и августе в 2010, 2012, 2016, 2018 гг. Влажность почвы в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля в июле, августе 2010, 2012, 2016, 2018 гг. в верхнем слое почвы от 0 до 20 см почти на 15–20% меньше, чем в 2011, 2013, 2014, 2015, 2017 гг.

Основным источником влаги является вода, находящаяся в почве, и основным органом поглощения воды является корневая система. Роль этого органа заключается в том, что благодаря огромной поверхности обеспечивается поступление воды в растения из возможно большого объема почвы [1].

Нами также исследовано формирование корневых систем по почвенному профилю у то-

поля бальзамического, в возрасте 50–55 лет. Из полученных результатов установлено, что в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1 отмечается снижение корненасыщенности почвы поглощающими корнями у тополя по сравнению с зоной условного контроля на ППП №2 (рис. 2). Установлено, что на ППП №1 у тополя отмечается снижение поглощающих корней в 1.4–1.5 раза, по сравнению с зоной условного контроля. Одной из причин увеличения значений утреннего, полуденного и вечернего водного дефицита у древесных растений в условиях полиметаллического СПЦ может являться снижение корненасыщенности почвы поглощающими корнями по сравнению с зоной условного контроля. По мнению Л.К. Кайбияйна с соавторами (1995), отмечается водный дефицит при отмирании доли корневых систем. Повышение значения водного дефицита у растений, применяемых для озеленения промышленных площадок, является также следствием усиления процесса транспирации [4]. В условиях полиметаллического загрязнения СПЦ водный дефицит может вызвать и ухудшение жизненного состояния (ЖС) деревьев.

У деревьев в относительно хорошем состоянии в зоне условного контроля утренний, полуденный и вечерний водный дефицит меньше, чем у ослабленных деревьев в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ. При исследовании ОЖС насаждений тополя бальзамического оценивались густота кроны, наличие на стволе мертвых сучьев, степень повреждения листьев (хлорозы, некрозы). В условиях полиметаллического загрязнения СПЦ насаждения тополя бальзамического на ППП №1 характеризуются в целом как «ослабленные» ( $L_n = 63.5\%$ ) (табл.). По данному показателю древостой в зоне условного контроля на ППП №2 относится к категории «здоровый» ( $L_n=85\%$ ). Более высокий водный дефицит у тополя бальзамического наблюдается в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ.

В условиях полиметаллического загрязнения у тополя бальзамического в относительно хорошем состоянии водный дефицит повышался на 8–10% по сравнению зоной условного контроля.

Высокий водный дефицит листьев тополя бальзамического не наблюдается в зоне условного контроля. Можно сказать, что снижение поглощающих корней и ухудшение относительно жизненного состояния деревьев в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ приводит к более частому возникновению водного дефицита.

*Жизненное состояние насаждений тополя бальзамического в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) на ППП №1 и в зоне условного контроля (ЗУК) на ППП №2*

№ ППП	Количество деревьев на ППП по категориям, шт.						ЖС насаждения	
	Общее	Здоровых	Ослабленных	Сильно ослабленных	Отмирающих	Сухих	Ln %	Категория
СПЦ ППП №1	20	3	12	3	0	2	63.5	Ослабленное
ЗУК ППП №2	20	13	5	0	0	2	85.5	Здоровое

Влажные годы 2011, 2013, 2014, 2015 гг. характеризуются небольшим водным дефицитом и его небольшими колебаниями у тополя бальзамического, величина водного дефицита также зависит от жизненного состояния деревьев. Нами в течение ряда лет проводилось определение водного дефицита у тополя бальзамического в различных экологических условиях. Сравнивая показатели водного дефицита тополя бальзамического во влажные и сухие годы прежде всего необходимо отметить, что утренний, полуденный, вечерний водный дефицит растений в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1 в 2 раза выше, чем в ЗУК на ППП №2. В условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1 наибольшее значение утреннего, полуденного и вечернего водного дефицита отмечены у тополя в 2010, 2016, 2018 гг., а более слабый водный дефицит листьев тополя наблюдается в холодном влажном 2015 г.

**Заключение.** Таким образом, полученные нами значения водного дефицита листьев тополя бальзамического в зоне сильного воздействия воздушного загрязнения (СПЦ) на ППП №1 в сухой жаркий год изменялись в пределах 8–10% по сравнению зоной условного контроля. Видимо, одним из важных факторов, которые воздействуют на древесные растения в условиях полиметаллического загрязнения СПЦ на ППП №1, являются недостаток воды и действие повышенных температур. В условиях полиметаллического загрязнения увеличение водного дефицита древесных растений также зависит от влажности почвы и уменьшения доли поглощающих корней на глубине 10 (20) см. В условиях полиметаллического загрязнения СПЦ

водный дефицит может быть вызван торможением поглощения воды поглощающими корнями вследствие загрязнения почвы тяжелыми металлами.

#### Литература

1. Якушина Н.И. Физиология растений. М.: Просвещение, 1980. 245 с.
2. Кайбияйнен Л.К., Сазонова Т.А. Динамика водного обмена сосны // Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и водного режима растений в полевых условиях. Иркутск, 1983. С. 110–124.
3. Жунгиету Г.И., Жунгиету И.И. Химическая экология высших растений. Кишинев: Изд-во Штиинца, 1991. 200 с.
4. Вербицкая О.А. Водный обмен древесных растений в условиях хронического действия органических ксенобиотиков // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ. 2011. Вып. 16, № 1. С. 93–102.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6, вып. 9. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области. Башкирская АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 557 с.
6. Catsky L. Determination of Water Deficit in Disks cut out from leaf blades // Physiol. Plantarum. 1960. Vol. 2, № 1. P. 76.
7. Пахомова Г.И., Безуглов В.К. Водный режим растений. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1980. 249 с.
8. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв: Изд-во Агропромиздат, 1986. 416 с.
9. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В.А. Алексеева: Л.: Наука, 1990. 200 с.
10. Красильников П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений (с учетом специфики ресурсоведческих исследований). Л.: Наука, 1983. 208 с.

**References**

1. Yakushina N.I. Plant physiology: [Textbook for biol. spec. ped. in-tov]. M., Prosveshchenie, 1980, 245 p.
2. Kaibiyainen L.K., Sazonova T.A. Dynamics of pine water exchange // Ecological and physiological studies of photosynthesis and water regime of plants in the field. Irkutsk, 1983, p. 110-124.
3. Zhungietu G.I., Zhungietu I.I. Chemical ecology of higher plants. Kishinev: Stiinets Publishing House, 1991. 200 p.
4. Verbitskaya O.A. Water exchange of woody plants in conditions of chronic action of organic xenobiotics // Nutrition bioindicatii ta ekologii. Zaporiizhnya: ZNU. 2011. Issue 16, no. 1, pp. 93-102.
5. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Ser. 3. Long-term data. Parts 1-6. Issue 9. Perm, Sverdlovsk, Chelyabinsk, Kurgan regions. Bashkir ASSR-L.: Gidrometeoizdat, 1990. 557 p.
6. Catsky L. Detemination of Water Deficit in Disks cut out from leaf blades // Phisiol. Plamtatum. 1960. Vol. 2, no. 1, p. 76.
7. Pakhomova G. I., Bezuglov V. K. Water regime of plants. Kazan: Publishing house of the Kazan University, 1980, 249 p.
8. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. Methods of research of physical properties of soils: Agropromizdat Publishing House, 1986, 416 p.
9. Forest ecosystems and atmospheric pollution / ed. V. A. Alekseev: L.: Nauka, 1990, 200 p.
10. Krasilnikov P. K. Methodology of field study of underground parts of plants (taking into account the specifics of resource studies). L., Nauka, 1983, 208 p.



**CONDITION AND WATER DEFICIENCY OF BALSAMIC POPLAR LEAVES  
IN THE CONDITIONS OF POLYMETALLIC CONTAMINATION  
OF THE STERLITAMAK INDUSTRIAL CENTER**

© R.Kh. Giniyatullin, A.Yu. Kulagin

Ufa Institute of Biology – Separate Structural Subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Centre of the RAS,  
69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The paper presents materials on the water deficiency of leaves in the balsamic poplar in the conditions of polymetallic contamination of the Sterlitamak industrial center. The object of the research was poplar plantations located at different distances from the industrial enterprises of Sterlitamak. As a result, it was revealed that in the conditions of polymetallic contamination of the Sterlitamak industrial center at noon, with an increase in temperature and a decrease in relative humidity, the moisture consumption increases in the balsamic poplar. The maximum water deficit in the daytime is from 13 to 15 hours. In trees in conditions of polymetallic contamination of the SPC, the water consumption during the night hours is not covered by its intake, so the next day the morning hours began with some water shortage. As a result of the conducted studies, it was found that in the conditions of polymetallic pollution of the Sterlitamak industrial center, with the deterioration of the living condition and with a decrease in the proportion of absorbing roots of the balsamic poplar, significant changes in water deficit indicators are noted.

Key words: Water scarcity, balsamic poplars, category of life condition, absorbing roots, Sterlitamak industrial center.