

УДК 581.5

doi: 10.17223/19988591/23/14

О.Н. Папина¹, Р.О. Собчак¹, Т.П. Астафурова²

¹Горно-Алтайский государственный университет (г. Горно-Алтайск)

²Томский государственный университет (г. Томск)

ВЛИЯНИЕ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ НА ПОКРОВНЫЕ ТКАНИ И СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ В ХВОЕ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА PINACEAE LINDL.

Исследование проведено при финансовой поддержке ФЦП
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»
на 2009–2013 годы (соглашение № 14.В37.21.2004).

Показаны изменения в водном режиме (содержание связанной воды, концентрация клеточного сока) и покровных тканях четырех видов хвойных семейства *Pinaceae* Lindl. в загрязненных районах г. Горно-Алтайска (Республика Алтай). Выявлены деструкция элементов покровных тканей хвои, изменение соотношения свободной и связанной воды в сторону увеличения содержания наиболее упорядоченных форм, что, в свою очередь, приводит к уменьшению водоотдачи при действии неблагоприятных факторов среды. Концентрация клеточного сока изменяется в зависимости от сезона и степени загрязнения. Все отмеченные изменения тесно связаны с устойчивостью растений к загрязнению. Наиболее устойчивыми к загазованности воздуха в условиях г. Горно-Алтайска являются сосна сибирская (*Pinus sibirica*) и сосна обыкновенная (*P. sylvestris*), а наименее устойчивыми – ель сибирская (*Picea obovata*) и пихта сибирская (*Abies sibirica*).

Ключевые слова: водный режим; связанная вода; концентрация клеточного сока; покровные ткани; загрязнение.

Введение

В настоящее время многими исследованиями выявлены изменения в анатомической структуре листа, возникающие от воздействия поллютантов [1, 2], которые могут приводить к подавлению важнейших физиологических процессов и снижению жизнеспособности растений. Содержание воды в значительной степени зависит от состояния покровных тканей, что особенно важно для растений, произрастающих в загрязненных техногенными эмиссиями зонах.

Одним из основных показателей жизнеспособности растений является степень оводненности их тканей. Содержание воды в растениях зависит от их видовых особенностей, возраста, условий водообеспеченности, минерального питания, а также от других факторов и претерпевает сезонные и суточные изменения. Л.А. Захарова выявила, что в условиях аэрогенного загрязнения проявляется различие оводненности листьев у видов рода *Salix*:

у аборигенов, характеризующихся высокой экологической пластичностью, этот показатель возрастает, в то время как у интродуцентов с низкой экологической пластичностью – уменьшается [3]. В вопросе взаимодействия водного режима и газоустойчивости растений существуют неоднозначные мнения. Одни считают засухоустойчивые растения более газоустойчивыми [4]. По мнению других авторов, устойчивыми к действию кислых газов являются растения с повышенной оводненностью и преобладанием связанной воды [5]. Ю.З. Кулагин отмечал, что реакция на задымление у разных видов неодинакова [6]. У некоторых из них содержание отдельных форм воды, по сравнению с контролем, изменяется незначительно. Эти виды проявляют газоустойчивость. У других видов содержание связанной воды снижается значительно, что приводит к затруднению синтеза гидрофильных биокolloидов и снижению газоустойчивости. Растения с более упорядоченной структурой внутриклеточной воды оказываются более устойчивыми к атмосферным токсикантам [7]. Уменьшение содержания воды в листьях под действием кислых газов, например SO_2 , связано с нарушением механизмов регуляции интенсивности транспирации (устычной и кутикулярной) в результате «паралича устьиц» [8] и разрушения воскового слоя наружного покрова листовых пластинок [4]. Г.М. Илькун считает, что нарушение структуры клеток и тканей листа, а также коллоидно-химических свойств цитоплазмы под действием вредных газов отражается на водном режиме не только ассимилирующих органов, но и всего растения [9]. Содержание разных форм воды и концентрация клеточного сока используются как интегральные показатели эколого-физиологических особенностей водного режима, а также для выявления механизмов адаптации растений к условиям среды [10, 11].

Цель работы – выявить изменения в содержании разных форм воды, концентрации клеточного сока, сопряженные с повреждениями покровных тканей в хвое некоторых видов *Pinaceae* Lindl. в загрязненных районах г. Горно-Алтайска.

Материалы и методики исследования

Район исследований – г. Горно-Алтайск, расположенный в северной части Республики Алтай. Отсутствие крупных промышленных предприятий, положение в сравнительно чистом природном комплексе, небольшая численность населения должны были обеспечить экологически чистую обстановку данной территории. Однако по условиям рассеивания вредных примесей в атмосфере территория г. Горно-Алтайска входит в неблагоприятную зону, так как город расположен в долине, окруженной со всех сторон горами, и проблема загрязнения воздушного бассейна республиканского центра до настоящего времени остается наиболее острой в зимний период.

Характерной климатической особенностью долины р. Майма, в которой расположен г. Горно-Алтайск, является образование воздушных инверсий;

холодный воздух спускается с гор и подтекает под теплый. Выбрасываемые загрязняющие вещества оказываются сосредоточенными в приземном слое воздуха. Преобладающая скорость ветра в городе составляет 2 м/с. При таких условиях уноса и рассеивания выбросов практически не происходит. Это способствует накоплению загрязняющих веществ в приземной атмосфере и, как следствие, в почвенном покрове городской территории [12].

Основным фактором ухудшения качества атмосферного воздуха в г. Горно-Алтайске является значительный рост числа автотранспортных средств, что приводит к нарастающему загрязнению улиц. Другими значимыми источниками поступления загрязняющих веществ служат отопительные печи частного сектора, многочисленные мелкие и крупные котельные. Исходя из анализа экологической обстановки г. Горно-Алтайска, наиболее распространенными загрязнителями воздуха являются твердые взвеси разной дисперсности (пыль, зола, сажа, дым), оксид углерода, сернистый ангидрид, оксиды азота, летучие углеводороды.

В качестве объектов исследования были выбраны 4 вида семейства *Pinaceae* Lindl.: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), сосна сибирская (*Pinus sibirica* L.), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Исследования были проведены в сезонной динамике (осень, зима, весна).

Контрольные пробные площади (контроль) находились в условно чистой зоне (район агробиостанции ГАГУ). Опытные площади расположены в сильнозагрязненных районах г. Горно-Алтайска в близких к контрольным природно-климатических условиях. Хвоя сосны обыкновенной взята с деревьев, произрастающих в районе ост. «Мебельная фабрика» (опыт 1), сосны сибирской – в районе Автовокзала (опыт 2), ели сибирской – в районе Родника (опыт 3), пихты сибирской – в районе ЖБИ (опыт 4).

На каждой пробной площади были выбраны визуально неповрежденные деревья (5 шт.), находящиеся в одинаковых условиях освещения и увлажнения. Возраст древесных пород составлял 40–55 лет. Анатомические показатели двухлетней хвои изучали по общепринятым методикам [13]. Состояние оводнённости хвои (свободная и связанная вода, концентрация клеточного сока) определяли в динамике в разные сезоны года (осень, зима, весна) в условиях сильного загрязнения города рефрактометрическим методом [14]. Сбор побегов со всех исследуемых площадей осуществлялся в течение одного дня из средней части кроны южной экспозиции. Повторность для анатомических исследований – 20-кратная, для показателей разных форм воды – 3-кратная. Полученные данные были обработаны с использованием пакета электронных таблиц Microsoft Excel.

Результаты исследования и обсуждение

Покровные ткани первыми принимают негативные воздействия, поскольку непосредственно контактируют с окружающей средой. Для деталь-

ного изучения анатомических параметров нами были выбраны структурные элементы (кутикула, эпидерма, гиподерма). Их функция связана преимущественно с защитой внутренних тканей и наиболее уязвимых клеток к действию токсикантов (устьица, клетки мезофилла под устьицами). Кроме того, повреждения этих структурных элементов могут влиять на содержание воды в листьях.

Результаты структурных изменений покровных тканей хвой в загрязненных районах г. Горно-Алтайска представлены на рис. 1 и в таблице. Так, показатели толщины кутикулы при действии токсических веществ могут снижаться (сосна сибирская, пихта), оставаться на уровне контрольных (сосна обыкновенная) или увеличиваться (ель). Так, кутикула тоньше у пихты на 1,12 мкм, остальные показатели мало отличаются от контрольных.

**Показатели структурных элементов покровных тканей
в зависимости от воздействия воздушных поллютантов**

Объект исследования	Вариант опыта	Толщина, мкм		
		кутикулы	эпидермы	гиподермы
Сосна обыкновенная	Контроль	$5,05 \pm 0,18$ 16,7	$12,85 \pm 0,52$ 18,3	$12,14 \pm 0,57$ 21,1
	Опыт 1	$5,1 \pm 0,64$ 40	$12,95 \pm 0,57$ 13,9	$8,87 \pm 0,52^*$ 18,8
Сосна сибирская	Контроль	$6,48 \pm 0,29$ 20	$10,1 \pm 0,28$ 12,6	$12,24 \pm 0,3$ 11
	Опыт 2	$5,1 \pm 0,21^*$ 13,3	$11,32 \pm 0,53$ 14,9	$6,94 \pm 0,33^*$ 15,2
Ель сибирская	Контроль	$3,54 \pm 0,1$ 13,5	$9,67 \pm 0,29$ 13,8	$4,41 \pm 0,17$ 17
	Опыт 3	$5,05 \pm 0,21^*$ 18,5	$10,17 \pm 0,35$ 15,6	$5,29 \pm 0,23$ 19,5
Пихта сибирская	Контроль	$6,42 \pm 0,2$ 14,6	$7,9 \pm 0,39$ 22,5	Нет гиподермы
	Опыт 4	$5,3 \pm 0,26^*$ 22,1	$7,04 \pm 0,36^*$ 23	Нет гиподермы

Примечание. В числителе среднее $\pm$ ошибка средней, в знаменателе – коэффициент вариации, %. * Отличия от контрольного варианта ($p < 0,05$).

У ели толщина кутикулы увеличивается в городских условиях в 1,43 раза. У обоих видов рода сосна наблюдается большее варьирование структурных параметров. Следует отметить, что усилившийся показатель толщины кутикулы у ели в городских условиях на самом деле мало обеспечивает защиту от токсикантов. Хотя кутикула здесь и более толстая, она становится часто волнистой, извилистой, рассеченной и даже прерывистой, что еще более облегчает проникновение токсических веществ во внутренние ткани хвой. Как известно, представляя собой защитный покров, кутикула, вместе с тем, до-

вольно легко проницаема для ряда различных веществ, в том числе для газов и воды. Поражение листьев и хвои атмосферными загрязнителями обусловлено в большей степени кутикулярной проницаемостью, чем численностью открытых устьиц [15]. Пыль нарушает температурный и водный режимы растений, поглощение световой энергии и газообмен [9].

По нашим наблюдениям, гиподерма в условиях города часто бывает более тонкой и составляет 73–96% по сравнению с контролем. В сильно загрязненных районах гиподерма в углах (ребрах) хвои некоторых видов (ель, сосна) может быть толще, иногда двухрядной. На возрастающую роль гиподермы в условиях загрязнения указывают исследования В.М. Тарбаевой и В.М. Ладановой. В данной работе авторы также отмечают образование двухрядной гиподермы при воздействии фитотоксикантов [16].

На поперечных срезах хвои исследованных видов хорошо просматривается характер повреждений хвои от атмосферных выбросов (рис. 1). У всех исследованных видов наблюдается деструкция кутикулы, эпидермы и гиподермы. Хвоя густо покрыта крупнодисперсными веществами (пыль, зола, сажа), которые забивают устьица и проникают в мезофилл прежде всего через устьица и разрыхленный слой кутикулы, а также между клетками эпидермы и гиподермы. У пораженных устьиц меняются очертания, часто разрушаются стенки замыкающих клеток, что приводит к нарушениям в механизме движения устьиц, а также к интоксикации мезофилла. При загрязнении атмосферы уменьшается число устьиц. Наши данные согласуются с результатами исследований других ученых. Е.А. Клепикова и др. отмечают, что реакция эпидермы листьев на накопление тяжелых металлов выражена в снижении количества устьиц у *Betula verrucosa* и *Plantago major* [17]. На количество устьиц в листе также влияют два фактора: концентрация CO_2 в воздухе и количество влаги в почве [18].

В загрязненных районах в зимний период в устьичных щелях часто отсутствуют восковые пробки. Можно полагать, что жироподобные вещества (воск и кутин) разрушаются загрязнителями от котельных и автотранспорта, так как *a*-пирен и диоксин разрушают липиды.

Известно, что оводненность тканей значительно изменяется в течение года. Нами проведено изучение содержания свободной, связанной воды и концентрации клеточного сока в хвое ели сибирской, сосны сибирской, сосны обыкновенной, пихты сибирской в загрязненных районах г. Горно-Алтайска в сезонной динамике (осень, зима, весна). В результате было выявлено, что осенью у всех исследованных видов в опытных вариантах, по сравнению с контролем, происходит увеличение количества связанной воды (рис. 2). Можно полагать, что эта адаптация позволяет растениям подготовиться к перенесению низких температур в зимних условиях. Зимой, как в чистой, так и в загрязненной зоне, у всех исследованных видов, кроме ели, отмечено максимальное содержание связанной воды. Весной растения выходят из состояния зимнего покоя, поэтому содержание связанной воды в хвое уменьшается (от 1 до 2,5 раза, по сравнению с зимой).

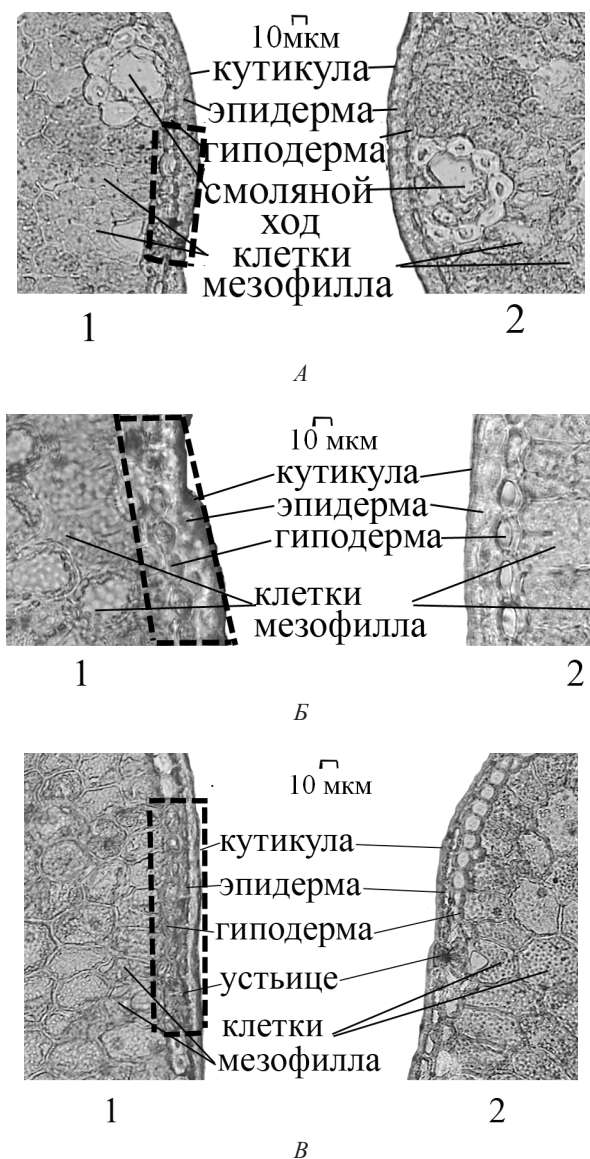


Рис. 1. Деструктивные изменения на поперечных срезах хвои в загрязненных районах г. Горно-Алтайска (1), контроль (2): А – сосны обыкновенной; Б – сосны сибирской; В – ели сибирской.
 — — — Места наибольших деструктивных изменений

Однако у ели максимум связанной воды в обеих зонах наблюдается весной, а у пихты – только в условиях загрязнения, что приводит к уменьшению свободной воды, особенно необходимой в весенний период активизации физиологических процессов.

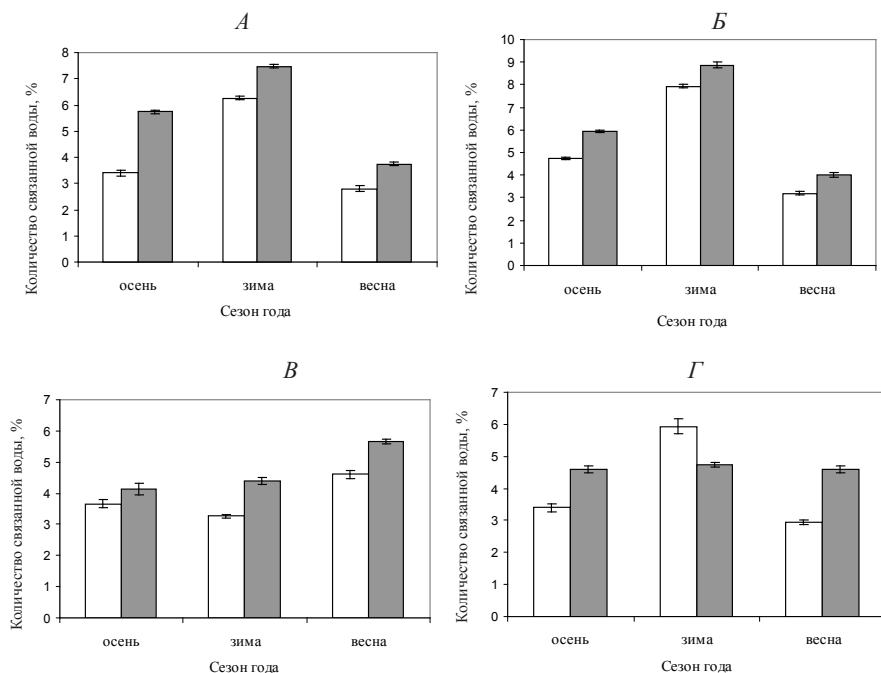


Рис. 2. Сезонная динамика содержания связанной воды в хвое сосны обыкновенной (А), сосны сибирской (Б), ели сибирской (Б), пихты сибирской (Г) в загрязненных условиях г. Горно-Алтайска (опыт) и в чистой зоне (контроль)

Концентрация клеточного сока также является показателем устойчивости растений к внешним неблагоприятным условиям, в том числе к загрязнению. В результате наших исследований выяснилось, что более контрастные изменения данного показателя отмечаются между сезонами, чем в зависимости от загрязнения. В осенний и весенний периоды концентрация клеточного сока выше в хвое опытных экземпляров, по сравнению с контролем. В зимний период концентрация клеточного сока у городских растений значительно ниже. Это обусловлено тем, что в городе в зимний период гораздо теплее, чем в естественных условиях, и деревья раньше выходят из состояния зимнего покоя. Вследствие этого активизируются обменные процессы: дыхание становится более интенсивным, запас углеводов быстро расходуется, в итоге растение ослабевает. Побеги в кроне деревьев, подвергающихся задымлению, резко повышают оводненность. Причина – более интенсивное нагревание солнечными лучами покрытых частицами сажи побегов и более раннее стайвание снега (загрязненный частицами сажи снег быстрее тает), в результате чего быстрее происходит преждевременная активация побегов, сопровождающаяся, в частности, быстрым возрастанием оводненности как почек, так и стеблей, а следовательно и хвои. Это может отрицательно отразиться на состоянии деревьев, так как спровоцированный загрязненным

воздухом период может стать причиной вымерзания побегов в кроне при весенних заморозках. Поэтому городские насаждения более уязвимы, по сравнению с загородными.

Заключение

Таким образом, в городской среде выявлены повреждения и деструкции структурных элементов покровных тканей хвои, изменения соотношения свободной и связанной воды в сторону увеличения содержания наиболее упорядоченных форм, что, в свою очередь, приводит к уменьшению водоотдачи и способствует сохранению выровненного водного баланса растений при действии неблагоприятных факторов среды. Уменьшение свободной воды весной у ели и пихты приводит к замедлению физиологических процессов. Концентрация клеточного сока изменяется сильнее в зависимости от сезона, чем от степени загрязнения. В условиях городской среды г. Горно-Алтайска больше нарушений в анатомической структуре хвои и водном балансе выявлено у неустойчивых видов – ели сибирской и пихты сибирской, чем у наиболее устойчивых – сосны сибирской и сосны обыкновенной.

Литература

1. Аишуров А.А., Эргашева Г.М., Саидов М. Анатомические особенности строения листа при техногенном загрязнении // Известия Академии наук Таджикской республики отделения биологических и медицинских наук. 2001. № 5. С. 95–105.
2. Теребова Е.Н., Галибина Н.А. Функциональная активность клеточной стенки хвои сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения (Мончегорский медно-никелевый комбинат) // Флора и фауна северных городов : сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Мурманск, 24–26 апреля 2008 г. Мурманск : Мурманский гос. пед. ун-т, 2008. С. 159–175.
3. Захарова Л.А. Устойчивость видов рода *Salix* L. к аэрогенному загрязнению атмосферы : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 16 с.
4. Сергейчик С.А. Растения и экология. Минск : Ураджай, 1997. 224 с.
5. Сарбаева Е.В. Биоэкологические особенности туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в условиях городской среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 2005. 22 с.
6. Кулагин Ю.З. Индустриальная дендроэкология и прогнозирование. М. : Наука, 1985. 118 с.
7. Кондратюк Е.Н., Тарабарин В.П., Бакланов В.И. и др. Промышленная ботаника / под ред. Е.Н. Кондратюка. Киев : Наукова Думка, 1980. 260 с.
8. Барахтенкова Л.А., Кузнецова А.А. Ассимиляция двуокиси серы растениями. Физиология фотосинтеза. Новосибирск : Изд-во НГПУ, 1998. 203 с.
9. Илькун Г.М. Загрязненность атмосферы и растения. Киев : Наукова думка, 1978. 247 с.
10. Половникова М.Г. Эколого-физиологические особенности горных растений на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2007. 24 с.
11. Воскресенская О.Л. Экологические аспекты функциональной поливариантности онтогенеза растений : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Казань, 2009. 50 с.

12. Шарабура Г.Д., Модина Т.Д. Природа загрязнения атмосферы в районе г. Горно-Алтайска // Материалы научно-практической конференции «Социально-экономические проблемы развития города Горно-Алтайска до 2000 года» 23–24 апреля 1998 г. Горно-Алтайск, 1998. С. 41–42.
13. Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г. и др. Справочник по ботанической микро-технике. Основы и методы. М. : Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
14. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Л. : Колос, 1972. 456 с.
15. Кравкина И.М. Влияние атмосферных загрязнителей на структуру листа // Ботанический журнал. 1991. Т. 76, № 1. С. 3–9.
16. Тарбаева В.М., Ладанова Н.В. Влияние аэротехногенного загрязнения на репродуктивную и вегетативную сферу хвойных. Сыктывкар : Коми науч. центр УрО РАН, 1994. 32 с.
17. Клепикова Е.А., Безель В.С., Таршис Г.И. Реакция эпидермального комплекса *Betula verrucosa* и *Plantago maior* на токсическое загрязнение среды // Сибирский экологический журнал. 2002. № 1. С. 67–71.
18. Schoettle A.W., Rochelle S.G. Morphological variation of *Pinus flexilis* (Pinaceae) a range of elevations // American Journal of Botany, 2000. Vol. 87, № 12. P. 1797–1806.

Поступила в редакцию 15.03.2013 г.

Tomsk State University Journal of Biology. 2013. № 3 (23). P. 152–161

doi: 10.17223/19988591/23/14

Olga N. Papina¹, Raisa O. Sobchak¹, Tatyana P. Astafurova²

¹ Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, Russia

² Tomsk State University, Tomsk, Russia

THE INFLUENCE OF URBAN SURROUNDING ON THE INTEGUMENT AND THE WATER CONTENT IN THE NEEDLES OF THE SPECIES OF THE FAMILY PINACEAE LINDL.

Changes of the water regime (the quantities of free and bound water and the concentration of the cellular fluid) and those of the integument of four species of conifers of the family Pinaceae Lindl. (Archangel fir – Pinus sylvestris L., Siberian cedar – Pinus sibirica L., Siberian spruce – Picea obovata Ledeb., Siberian fir – Abies sibirica Ledeb) in the polluted areas of the town of Gorno-Altai (Republic Altai) were shown. Partial decomposition of the elements of the integument of the needles was found. Thus, toxic substances may affect the thickness of the cuticle, either making it decrease (as is the case with Siberian cedar and the fir), or increase (the spruce), or it remains as thick as that of the control set (Archangel fir). The cuticle of the fir is thinner by 1.12 µm, the other parameters differing very little from those of the control set. The cuticle of the fir increases under urban conditions 1.43 times. Both types of the pine demonstrate a greater variety of the structure parameters. It is worth noting that the thickening of the cuticle of the fir does not increase the protection from the toxins of the urban surrounding. Though the cuticle becomes thicker, it often becomes undulate, flexuous, parted, and even broken interrupted, which makes it easier for toxic agents to penetrate into the inner tissues of the needle. As it is known, the cuticle, while being a protective layer, is still quite penetrable for some substances, including gases and water.

Changes of free and bound water ratios are found, i.e. those towards the increase of the proportions of more ordered forms, which, in its turn, results in the decrease in the runout under the influence of adverse factors of the surrounding. The concentration of the cellular fluid varies, depending on the season and the levels of pollution.

*All those changes are closely related to the resistant qualities of plants. The most resistant to the gas pollution of Gorno-Altai are the Siberian cedar (*Pinus sibirica*) and the Archangel fir (*P. sylvestris*), while the Siberian spruce (*Picea obovata*) and the Siberian fir (*Abies sibirica*) turn out to be the least resistant species.*

Key words: *water mode; the free water; the bound water; the concentration of the cellular fluid; the integument; pollute the environment.*

Received March 15, 2013