

Н.В. Пахарькова, Я.П. Михальчук, Е.Б. Андреева

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ЗИМНИЙ ПОКОЙ ХВОЙНЫХ НА ТЕРРИТОРИИ
ЗАПОВЕДНИКА «СТОЛБЫ»

N.V. Pakharkova, Ya.P. Mikhailchuk, E.B. Andreeva

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE FACTOR ON WINTER CONIFEROUS' DORMANCY
IN THE RESERVE "STOLBY"

Пахарькова Н.В. – канд. биол. наук, доц. каф. экологии и природопользования Института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: nina.pakharkova@yandex.ru

Михальчук Я.П. – студ. 4-го курса Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: yanamishaa@gmail.com

Андреева Е.Б. – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. научного отдела Государственного природного заповедника «Столбы», г. Красноярск. E-mail: elan56789@gmail.com

Pakharkova N.V. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology and Environmental Management, Institute of Economy, Management and Environmental Management, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: nina.pakharkova@yandex.ru

Mikhailchuk Ya.P. – 4-year Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: yanamishaa@gmail.com

Andreeva E.B. – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Scientific Department, National Natural Park "Stolby", Krasnoyarsk. E-mail: elan56789@gmail.com

Вопрос о воздействии изменения климата на древесные растения был поднят давно, и в средних и высоких широтах это явление становится все более заметным. Быстрые изменения климата могут довольно сильно влиять на метаболизм древесных растений, скорость прохождения фенофаз, сроки роста и размножения. Целью данной работы было изучение влияния температурного фактора на активность фотосинтетического аппарата хвойных во время осенней фотопериодической реакции и в период зимнего покоя. В качестве объектов исследования использовали однолетнюю хвою пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.). Параметры флуоресценции хлорофилла определяли с помощью флуориметра JUNIOR-PAM. Полученные данные свидетельствуют о значительном вкладе температурного фактора в регуляцию активности фотосинтетического аппарата хвойных не только в период вынужденного покоя, но и во время подготовки к переходу в фазу глубокого покоя. Также отмечены отличия в значимости температурного фактора при регуляции прохождения фаз зимнего покоя у темнохвойных и светлохвойных видов. Мы пришли к выводу, что все изученные виды ха-

рактеризуются различной глубиной покоя. Темнохвойные виды, особенно пихта, характеризуются меньшей глубиной покоя и более короткой его продолжительностью. Возможно, в условиях потепления климата деревья пихты выходят из вынужденного покоя даже во время коротких зимних оттепелей, которые ранее не были характерны для исследуемых районов. Потери воды, которые возникают из-за возобновления фотосинтетической активности и газообмена, не могут быть компенсированы в зимних условиях из-за мерзлых грунтов, что приводит к усыханию и гибели хвои.

Ключевые слова: *Abies*, *Pinus*, *Picea*, изменение климата, зимний покой, флуоресценция.

The question of the effect of warming of the climate on trees has been raised before and the influence of global warming on trees at mid- to high latitudes is becoming clearer now. Rapid climate changes can greatly influence tree metabolism and development, and climate-related traits of tree species, such as timing of growth and reproduction should be studied in that regard. The aim of this work was to study the effect of temperature on the activity of the photosynthetic apparatus of conifers during the autumn photoperiodic response and winter dormancy. As objects of the study we used one-

year needles of Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour.) and Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.). Chlorophyll fluorescence parameters were recorded on a fluorimeter JUN-IOR-PAM. The data show a significant influence of temperature on the regulation of the activity of the photosynthetic apparatus of conifers not only in the period of forced rest, but also in preparation for the transition to a phase of deep rest. Also we found out the differences significance of the temperature factor in the regulation of winter dormancy phase between the species. We conclude that all of the tree species studied were characterized by different depths of dormancy. Dark-needle species, especially fir were characterized by a smaller depth of dormancy and a shorter duration of dormancy. Perhaps in the conditions of climatic warming the *Abies sibirica* trees emerge from the forced dormancy even during the brief winter thaws, which previously have not been typical for the studied area. Water losses that arise due to the resumption of photosynthetic activity and gas exchange cannot be compensated in winter conditions due to frozen soils, which can result in desiccation and death of the needles.

Keywords: *Abies*, *Pinus*, *Picea*, climate change, winter dormancy, fluorescence.

Введение. Как известно, основным регулирующим фактором для перехода растений от активной вегетации к зимнему покою является изменение длины светового дня. Однако и температурный фактор оказывает значительное влияние, как во время осенней фотопериодической реакции, так и в различные фазы зимнего покоя. Вопрос о воздействии изменения климата на древесные растения был поднят достаточно давно [1–3], и в средних и высоких широтах это явление становится все более заметным [4–6], проявляясь, например, в изменении сроков вегетации [7]. Быстрые изменения климата могут довольно сильно влиять на метаболизм древесных растений, скорость прохождения фенофаз, сроки роста и размножения [8]. Одним из возможных проявлений такого воздействия является уменьшение глубины зимнего покоя растений, что приводит к преждевременному выходу из состояния покоя в зимнее время при кратковременных оттепелях и усыханию (вследствие потерь влаги при транспирации) [9, 10].

Под зимним покоем понимается определенное физиологическое состояние древесных и кустарниковых растений, при котором растение способно противостоять низким отрицательным температурам воздуха и почвы. Переход в это состояние происходит осенью при наступлении холодов на фоне гормональных и функциональных изменений в организме растений, связанных с наступлением глубокого органического покоя [11, 12], затем состояние глубокого органического покоя сменяется вынужденным зимним покоем. Необходимы дальнейшие исследования для решения вопросов, как растения реагируют на теплые зимние условия, вызванные изменением климата [13, 14]. Для понимания процесса регуляции экстремальной холодоустойчивости древесных растений в период перезимовки необходимо исследовать комплекс событий, занимающих место между органическим покоем и устойчивостью к холоду (осенью) и между вынужденным покоем и возобновлением активности (весной), а также роль температурного фактора в этот период.

Анализ параметров флуоресценции хлорофилла представляет мощный инструмент изучения воздействия самых разнообразных экологических факторов на растительные организмы. Химические факторы и климатические условия, часто являясь ингибиторами и активаторами биоэнергетических процессов, протекающих в тиллакоидах растительных клеток, способны оказывать выраженное влияние на параметры кинетики и спектральные особенности флуоресценции. Исследование кинетики флуоресценции может дать важную информацию, касающуюся характера влияния фактора внешней среды на параметры фотосинтеза, применимую как в целях экологического мониторинга, так и в целях оценки устойчивости растений [15].

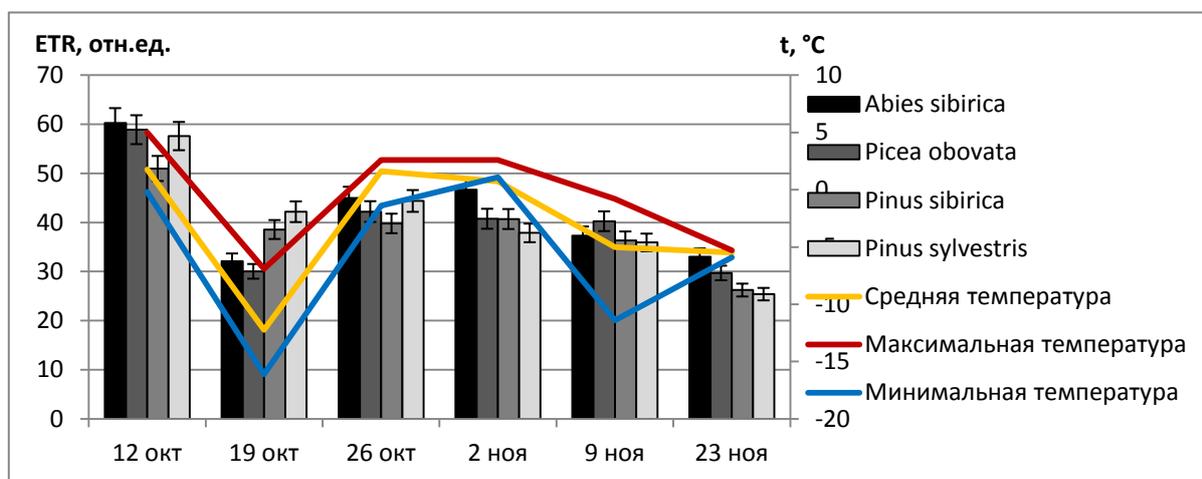
Цель работы. Изучение влияния температурного фактора на активность фотосинтетического аппарата хвойных во время осенней фотопериодической реакции и в период зимнего покоя.

Объекты и методы исследования. Исследования проводили на территории государственного заповедника «Столбы» в 2014–2015 годах. Природные условия заповедника определяются его положением на окраине обширной Алтае-Саянской горной области в зоне контакта Западно-Сибирской низменности и Среднесибирского плоскогорья. Из-за непосредственной близости Красноярской котловины в сочетании

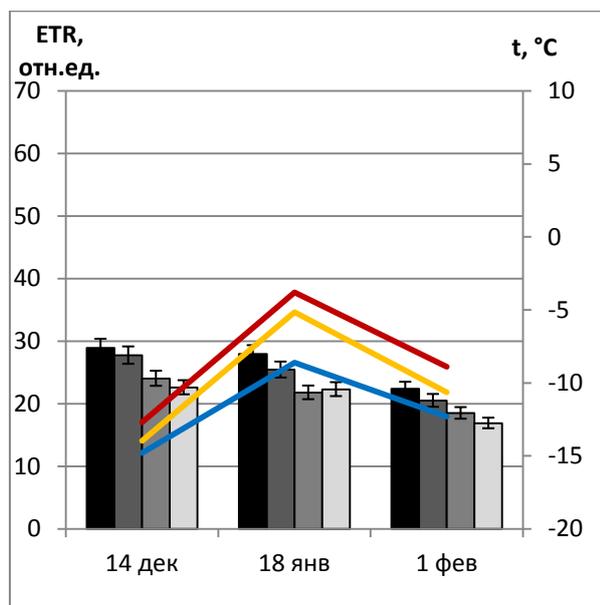
с горным рельефом здесь выражена переходная полоса между лесостепью и горной тайгой. В годовой динамике температур в этом районе четко выражен достаточно продолжительный холодный период, когда преобладают отрицательные температуры и активная жизнедеятельность растений невозможна. В качестве объектов исследования использовали однолетнюю хвою пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.). Параметры флуоресценции хлорофилла определяли с помощью флуориметра JUNIOR-PAM (Walz, Германия). Обработка результатов осуществлялась с помощью полнофункционального про-

граммного обеспечения WinControl. В качестве основного показателя был выбран ETR – скорость электронного транспорта, рассчитываемая на основании регистрируемых параметров $F'k F_m$ [16]. Температурные показатели получены по данным метеостанции заповедника «Столбы».

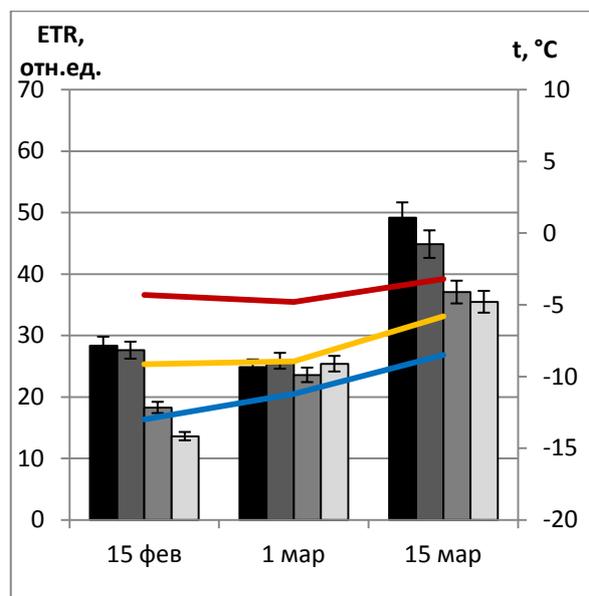
Результаты и их обсуждение. Во время прохождения осенней фотопериодической реакции и подготовки к переходу в состояние зимнего покоя основным сигнальным фактором для растений является изменение длины светового дня. Однако, как свидетельствуют данные, представленные на рисунке, А значения ETR у темнохвойных видов в осенний период достаточно сильно зависят от температуры воздуха.



А



Б



В

Изменение ETR однолетней хвои и температуры: А – осенний, Б – зимний и В – весенний периоды

Для понимания вклада минимальных и максимальных температур в этот период в сохранение или прекращение фотосинтетической активности хвои мы проследили зависимость ETR от этих температурных показателей. Данные, представленные в таблице, показывают, что в осенний период наиболее сильная корреляция

отмечена с максимальными дневными температурами. Проведенные исследования свидетельствуют также и о том, что ель и пихта более чувствительны к изменениям температуры в осенний период по сравнению с представителями рода *Pinus*.

Значение коэффициентов корреляции между ETR и температурой

Хвойные	Октябрь-ноябрь			Декабрь-январь			Февраль-март		
	Температура								
	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.
<i>Abies sibirica</i>	0,76	0,82	0,92	-0,03	0,00	-0,05	0,86	0,98	0,97
<i>Picea obovata</i>	0,61	0,75	0,89	-0,20	-0,17	-0,23	0,88	0,99	0,97
<i>Pinus sibirica</i>	0,38	0,49	0,73	-0,30	-0,27	-0,33	0,99	0,97	0,83
<i>Pinus sylvestris</i>	0,29	0,41	0,64	0,06	0,09	0,04	0,99	0,87	0,64

В начале зимнего периода, когда деревья находятся в фазе глубокого покоя, регулируемого гормонально, температурный фактор не имеет какого-либо значимого влияния на изменения фотосинтетического аппарата хвои ни у одного из исследуемых видов (рис., Б, табл.).

В конце зимы и начале весны (рис., В) определяющими для возобновления фотосинтетической активности становятся среднесуточные температуры (табл.). Вероятно, это связано с тем, что растения в это время переходят в состояние вынужденного покоя, выход из которого сдерживается только низкими температурами. В качестве сигнала к возобновлению фотосинтетической активности используется, по-видимому, накопленная сумма эффективных температур, и суточные колебания имеют меньшее значение, чем в осенний период. Однако можно отметить, что для сосны обыкновенной и сосны сибирской наиболее значимыми являются минимальные ночные температуры, что продолжает сдерживать восстановление их фотосинтетической активности при кратковременных дневных оттепелях. Возможно, именно с этим связана большая устойчивость представителей рода *Pinus* к повышению температуры в зимний и ранневесенний период [9], отмеченная ранее.

Заключение. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о значительном вкладе температурного фактора в регуляцию активности фотосинтетического аппарата хвойных не

только в зимне-весенний, но и в предзимний период. В то время, когда растения находятся в состоянии глубокого покоя, роль температурного фактора минимальна. В целом его значимость для возобновления фотосинтетической активности у темнохвойных видов выше, чем у светлохвойных.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований и Краевого фонда науки №15-44-04132р_сибирь_а.

Литература

1. *Cannell M.G.R., Smith R.I.* Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees // *Journal of Applied Ecology*. – 1986. – № 23. – P. 177–191.
2. *Hänninen H.* Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modeling of budburst phenology // *Canadian Journal of Botany*. – 1995. – № 73. – P. 183–199.
3. *Heide O.M.* High autumn temperature delays spring budburst in boreal trees, counterbalancing the effect of climate warming // *Tree Physiology*. – 2003. – № 21. – P. 931–936.
4. *Wilmking M., Juday G.P., Barber V.A.* [et al.]. Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds // *Global Change Biology*. – 2004. – № 10. – P.1724–1736.

5. Bonan G.B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests // *Science*. – 2008. – № 320. – P. 1444–1449.
6. Ohse B., Jansen F., Wilmking M. Do limiting factors at Alaskan treelines shift with climatic regimes? // *Environmental Research Letters*. – 2012. – Article Number: 015505 DOI:10.1088/1748-9326/7/1/015505.
7. Menzel A., Fabian P. Growing season extended in Europe. // *Nature*. – 1999. – № 397. – P. 659.
8. Alberto F.J., Aitken S.N., Alía R. [et al.]. Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations // *Global Change Biology*. – 2013. – № 19. – P. 1645–1661.
9. Пахарькова Н.В., Гетте И.Г., Андреева Е.Б. [и др.]. Особенности перехода в состояние зимнего покоя голосеменных и покрытосеменных древесных растений // *Вестник КрасГАУ*. – 2013. – № 6. – С. 186–191.
10. Пахарькова Н.В., Кузьмина Н.А., Кузьмин С.П. [и др.]. Морфофизиологические особенности хвои у разных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // *Сибирский экологический журнал*. – 2014. – Т. 21. – № 1. – С. 107–113.
11. Duan B., Yang Y., Lu Y. [et al.]. Interactions between water deficit, ABA, and provenances in *Picea asperata* // *Journal of Experimental Botany*. – 2007. – № 58. – P. 302–305.
12. Feurtado J.A., Ambrose S.J., Cutler A.J. [et al.]. Dormancy termination of western white pine (*Pinus monticola* DOUGL. Ex D. Don) seeds is associated with changes in abscisic acid metabolism // *Planta*. – 2004. – № 218. – P. 630–639.
13. Hänninen H. Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits // *Tree Physiology*. – 2006. – № 26. – P. 889–898.
14. Harrington C.A., Gould P.J., StClair J.B. Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir // *Forest Ecology and Management*. – 2010. – № 259. – P. 798–808.
15. Лысенко В.С., Вардуни Т.В., Соьер В.Г. [и др.]. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 4-1. – С. 112–120.
16. Junior-PAM. Chlorophyll Fluorometer: Operator's Guide / Heinz Walz Germany. – 2007. – URL: http://www.walz.com/downloads/manuals/junior-pam/jpm_071206.pdf.

Literatura

1. Cannell M.G.R., Smith R.I. Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees // *Journal of Applied Ecology*. – 1986. – № 23. – P. 177–191.
2. Hänninen H. Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modeling of budburst phenology // *Canadian Journal of Botany*. – 1995. – № 73. – P. 183–199.
3. Heide O.M. High autumn temperature delays spring budburst in boreal trees, counterbalancing the effect of climate warming // *Tree Physiology*. – 2003. – № 21. – P. 931–936.
4. Wilmking M., Juday G.P., Barber V.A. [et al.]. Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds // *Global Change Biology*. – 2004. – № 10. – P.1724–1736.
5. Bonan G.B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests // *Science*. – 2008. – № 320. – P. 1444–1449.
6. Ohse B., Jansen F., Wilmking M. Do limiting factors at Alaskan treelines shift with climatic regimes? // *Environmental Research Letters*. – 2012. – Article Number: 015505 DOI:10.1088/1748-9326/7/1/015505.
7. Menzel A., Fabian P. Growing season extended in Europe. // *Nature*. – 1999. – № 397. – P. 659.
8. Alberto F.J., Aitken S.N., Alía R. [et al.]. Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations // *Global Change Biology*. – 2013. – № 19. – P. 1645–1661.
9. Pahar'kova N.V., Gette I.G., Andreeva E.B. [i dr.]. Osobennosti perehoda v sostojanie zimnego pokoja golosemennyh i pokrytose-

- mennyh drevesnyh rastenij // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 6. – S. 186–191.
10. Pahar'kova N.V., Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R. [i dr.]. Morfofiziologicheskie osobennosti hvoi u raznyh klimatipov sosny obyknovennoj v geograficheskikh kul'turah // Sibirskij jekologicheskij zhurnal. – 2014. – T. 21. – № 1. – S. 107–113.
 11. Duan B., Yang Y., Lu Y. [et al.]. Interactions between water deficit, ABA, and provenances in *Picea asperata* // Journal of Experimental Botany. – 2007. – № 58. – P. 302–305.
 12. Feurtado J.A., Ambrose S.J., Cutler A.J. [et al.]. Dormancy termination of western white pine (*Pinus monticola* DOUGL. Ex D. Don) seeds is associated with changes in abscisic acid metabolism // Planta. – 2004. – № 218. – P. 630–639.
 13. Hänninen H. Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits // Tree Physiology. – 2006. – № 26. – P. 889–898.
 14. Harrington C.A., Gould P.J., StClair J.B. Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir // Forest Ecology and Management. – 2010. – № 259. – P. 798–808.
 15. Lysenko V.S., Varduni T.V., Sojer V.G. [i dr.]. Fluorescenciya hlorofilla rastenij kak pokazatel' jekologicheskogo stressa: teoreticheskie osnovy primeneniya metoda // Fundamental'nye issledovanija. – 2013. – № 4-1. – S. 112–120.
 16. Junior-PAM. Chlorophyll Fluorometer: Operator's Guide / Heinz Walz Germany. – 2007. – URL: http://www.walz.com/downloads/manuals/junior-pam/jpm_071206.pdf.

УДК 579.26:631.45

Л.Г. Рувинова, А.Н. Сверчкова,
С.М. Хамитова, Ю.М. Авдеев

БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ И ВОДНОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ

L.G. Ruvanova, A.N. Sverchkova,
S.M. Khamitova, Yu.M. Avdeev

BIOLOGICAL MONITORING OF THE SOIL AND WATER ENVIRONMENT POLLUTION IN THE CONDITIONS OF URBANIZATION

Рувинова Л.Г. – д-р биол. наук, проф. каф. геоэкологии и инженерной экологии Вологодского государственного университета, г. Вологда.

E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Сверчкова А.Н. – ассист. каф. геоэкологии и инженерной экологии Вологодского государственного университета, г. Вологда. E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Хамитова С.М. – канд. с.-х. наук, доц. каф. геоэкологии и инженерной экологии Вологодского государственного университета, г. Вологда.

E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Авдеев Ю.М. – канд. с.-х. наук, доц. каф. геоэкологии и инженерной экологии Вологодского государственного университета, г. Вологда.

E-mail: avdeevyur@yandex.ru

Ruvanova L.G. – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Geoecology and Engineering Ecology, Vologda State University, Vologda. E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Sverchkova A.N. – Asst, Chair of Geoecology and Engineering Ecology, Vologda State University, Vologda. E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Khamitova S.M. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Geoecology and Engineering Ecology, Vologda State University, Vologda. E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Avdeev Yu.M. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Geoecology and Engineering Ecology, Vologda State University, Vologda. E-mail: avdeevyur@yandex.ru

Оценка качественного состава урбанизированных территорий, насыщенных разными

источниками загрязнения атмосферной среды, наряду с теоретическим имеет важ-