



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 419–426
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 419–426
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-419-426>, EDN: PARRRZ

Научная статья
УДК 581.192.1:635.92

Оценка содержания биологически активных веществ и химических элементов в листьях хост и ириса гибридного в зеленых насаждениях Новосибирской области



Л. Л. Седельникова¹✉, О. Л. Цандекова²

¹Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золотолинская, д. 101

²Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН, Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский просп., д. 10

Седельникова Людмила Леонидовна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, lusedelnikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1122-2421>

Цандекова Оксана Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, zandekova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9768-3084>

Аннотация. В статье впервые представлены сравнительные результаты содержания зольных веществ, серы, фенольных соединений (танинов), аскорбиновой кислоты в листьях растений *Iris hybrida*, *Hosta decorata*, *H. albomarginata*, *H. lancifolia*, культивируемых в условиях Центрального сибирского ботанического сада (ЦСБС, Академгородок) и применяемых в озеленении городской среды г. Бердск и пгт. Кольцово (Новосибирская область) в течение сезонного развития 2020 г. Выявлена специфика распределения серы, золы, танинов, аскорбиновой кислоты в листьях исследованных видов. Определено количественное содержание представленных групп веществ в листьях в период цветения объектов исследования. В условиях городской среды установлено увеличение содержания зольных веществ в листьях *I. hybrida* в 2,5–3,6 раза и *H. albomarginata*, *H. lancifolia*, *H. decorata* в 1,4–1,7 раза. Отмечена общая тенденция накопления листьями серы и золы у видов рода *Hosta*, с наибольшим значением у *H. albomarginata*, произрастающих в зеленых насаждениях г. Бердска. В этих же условиях концентрация серы в листьях *I. hybrida* повышена в 1,3 раза по сравнению с *Hosta decorata*. Содержание аскорбиновой кислоты и танинов в листьях *H. albomarginata*, *H. lancifolia*, *H. decorata*, *I. hybrida* в 1,1–2,4 раза меньше в городской среде Бердска и Кольцово, чем у растений выращиваемых в условиях с благоприятной экологической ситуацией (ЦСБС). На основании оценки биохимических, морфометрических, ритмологических показателей исследованные виды можно расположить следующим образом в порядке убывания устойчивости в цветниках городской среды: *H. lancifolia* > *H. albomarginata* > *H. decorata* > *I. hybrida*.

Ключевые слова: *Iris hybrida*, *Hosta decorata*, *Hosta albomarginata*, *Hosta lancifolia*, лист, сера, зола, танины, аскорбиновая кислота, городская среда, Новосибирская область

Благодарности. ¹Работа выполнена в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН по проекту № АААА-А21-121011290025-2 «Анализ биоразнообразия, сохранения и восстановления редких и ресурсных видов растений с использованием экспериментальных методов».

²Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 0286-2021-0010).

Для цитирования: Седельникова Л. Л., Цандекова О. Л. Оценка содержания биологически активных веществ и химических элементов в листьях хост и ириса гибридного в зеленых насаждениях Новосибирской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 419–426. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-419-426>, EDN: PARRRZ
Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Assessment of the content of biologically active substances and chemical elements in the leaves of *Hosta* and *Iris hybrida* in the landscaping of the Novosibirsk region

L. L. Sedelnikova¹✉, O. L. Tsandekova²

¹Central Siberian Botanical garden of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskay St., Novosibirsk 630090, Russia

²Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS, 10 Leningradsky Ave., Kemerovo 650065, Russia

Lyudmila L. Sedelnikova, lusedelnikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1122-2421>

Oksana L. Tsandekova, zandekova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9768-3084>

Abstract. The article for the first time presents the comparative results of the content of ash substances, sulfur, phenolic compounds (tannins), ascorbic acid in the leaves of plants *Iris hybrida*, *Hosta decorata*, *H. albomarginata*, *H. lancifolia*, cultivated in the Central Siberian Botanical Garden



(CSBS, Akademgorodok) and used in landscaping the urban environment of the Berdsk and Koltsovo settlements (Novosibirsk region) during the seasonal development in 2020. The specificity of distribution of sulfur, ash, tannins, ascorbic acid in leaves of the studied species was revealed. The quantitative content of the presented groups of substances in the leaves during the flowering period of these objects of study has been determined. Under the conditions of urban environment, an increase in the content of ash substances in the leaves of *I. hybrida* by 2,5–3,6 times and *H. albomarginata*, *H. lancifolia*, and *H. decorata* by 1,4–1,7 times was found. The general tendency of the accumulation of sulfur and ash in leaves of the species of the genus *Hosta*, with the greatest value in *H. albomarginata* growing in green areas of Berdsk was noted. Under the same conditions, the concentration of sulfur in the leaves of *I. hybrida* increased 1,3 fold compared with *Hosta decorata*. The content of ascorbic acid and tannins in the leaves of *H. albomarginata*, *H. lancifolia*, *H. decorata*, *I. hybrida* is 1,1–2,4 times lower in the urban environment of Berdsk and Koltsovo than in plants grown in conditions with a favorable environmental situation (CSBS). In terms of biochemical, habitual, and rhythmological evaluation of the indicators, the species present a comparative series in descending values: *H. lancifolia* > *H. albomarginata* > *H. decorata* > *I. hybrida*.

Keywords: *Iris hybrida*, *Hosta decorata*, *Hosta albomarginata*, *Hosta lancifolia*, leaf, sulfur, ash, tannins, ascorbic acid, urban environment, Novosibirsk region

Acknowledgements. ¹The work was carried out within the framework of the state task of the Central Siberian Botanical garden SB RAS under the project № AAAA-A21-121011290025-2 “Analysis of biodiversity, conservation and restoration of rare and resource plant species using experimental methods”.

²The work was carried out as part of the implementation of the state task of the FITC UUH SB RAS (Project No. 0286-2021-0010).

For citation: Sedelnikova L. L., Tsandekova O. L. Assessment of the content of biologically active substances and chemical elements in the leaves of *Hosta* and *Iris hybrida* in the landscaping of the Novosibirsk region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 419–426 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-419-426>, EDN: PARRRZ

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

В озеленении городов и поселков Новосибирской области еще недостаточно используется видовой и сортовой состав многолетних цветочно-декоративных растений. Растения оказывают большое влияние на эстетическое, оздоровительное и психоэмоциональное состояние населения, являясь одновременно биоиндикаторами загрязнения городской среды. Неблагоприятная экологическая обстановка определена во многих регионах России, в том числе и Сибири [1]. Индустриальный город представляет собой центр периодического возникновения критических экологических ситуаций из-за промышленных выбросов, интенсивности движения автотранспорта, других факторов антропогенной нагрузки. В связи с этим в настоящее время возникает необходимость исследования устойчивости растений к техногенным и природным экологическим факторам. И. Ю. Усманов с соавт. [2] выделяют девять форм устойчивости, среди которых решающее значение в адаптационной перестройке растений в городской среде имеет оценка анатомических, физиологических, биохимических, габитуальных, феноритмических и др. изменений. В работах [3–8] освещена аккумулятивная роль зеленых насаждений, произрастающих в условиях антропогенного воздействия, токсических веществ. Особое внимание этим исследованиям уделяется за рубежом [9–18]. Известно, что вторичные метаболиты и химические элементы обладают многофункциональностью, оказывая влияние на рост и развитие, выполняют защитную роль, обеспечивая устойчивость

растений к различным факторам среды. Для озеленения городов Европейской России, Урала, Сибири рекомендуются представители рода *Iris* L. и *Hosta* Tratt. Однако оценка их состояния и устойчивости в урбанизированной среде не всегда определена. Сравнительное изучение декоративно лиственных растений в лесостепи Новосибирской области *ex situ* и городских условиях позволяет выявить адаптивные морфометрические и биохимические перестройки, связанные с жизнедеятельностью растений в неблагоприятных факторах среды, что является актуальным, обуславливает оригинальность, новизну и служит основанием для выполнения данной работы.

Цель работы состояла в сравнительной оценке содержания серы, золы, танинов, аскорбиновой кислоты в листьях растений *Iris hybrida*, *Hosta decorata*, *H. albomarginata*, *H. lancifolia* в условиях урбанизированной среды городов Бердска и Кольцово Новосибирской области.

Материалы и методы

Объектами изучения служили растения *Iris hybrida* hort. (сем. Iridaceae Juss., касатиковых) – Ирис гибридный сорт Sable и виды рода *Hosta* Tratt. – хоста, функия (сем. Hostaceae, хостовых), *H. decorata* Bailey – Х. декората, *H. albomarginata* (Hook.) Nyl. – Х. белоокаймленная, *H. lancifolia* (Thunb.) Engl. – Х. ланцетолистная. Это многолетние, декоративно лиственные, длительно летнецветущие, коротко-корневищные поликарпики (рис. 1). Эти виды были переданы в 2019 г. из биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО

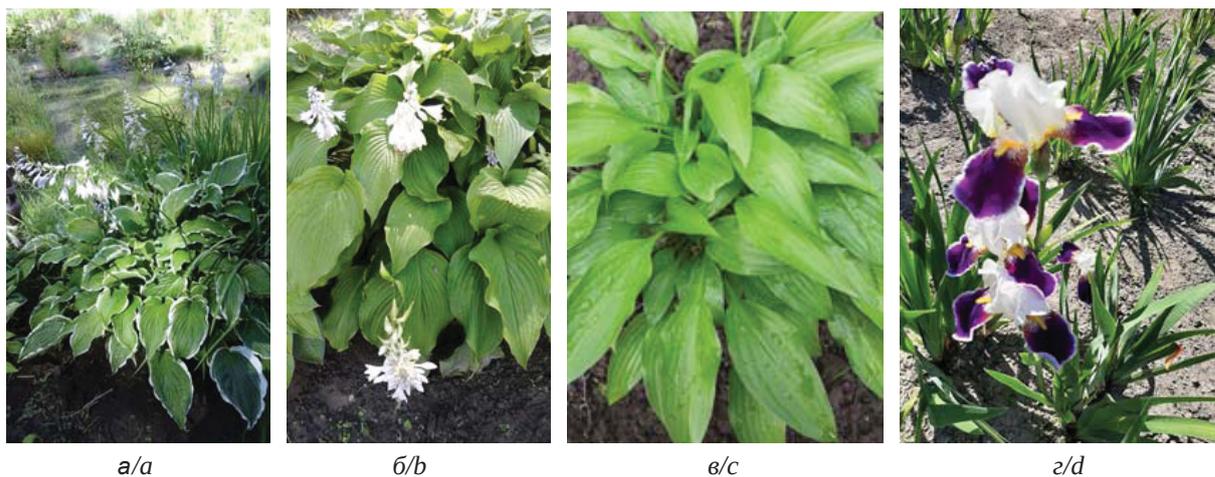


Рис. 1. *Hosta albomarginata* (а), *H. decorata* (б), *H. lancifolia* (в), *Iris hybrida* сорт Sable (г) в Центральном сибирском ботаническом саду

Fig. 1. *Hosta albomarginata* (a), *H. decorata* (b), *H. lancifolia* (c), *Iris hybrida* Sable variety (d) in the Central Siberian Botanical Garden

РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534 на объектах озеленения пгт. Кольцово, 21 (Клиническая районная больница № 1) и г. Бердска (Центр социальной помощи семье и детям «Юнона», ул. К. Маркса, 27). Контролем служили растения с коллекционного участка лаборатории декоративных растений, расположенного в относительно благоприятных экологических условиях (Советский район, Академгородок, г. Новосибирск). Сбор растительного сырья проводили во второй декаде июля (15–16.07) 2020 г. Листья сушили и перетирали до мелкой фракции. Определение зольности (общей зольности) проводили путем сухого озоления в муфельной печи при $t +400...+500^{\circ}\text{C}$ по ГОСТ 24027.2-80 [19]. Определение содержания общей серы проводили после мокрого озоления из одной навески (0,1 г) спектрофотометрическим методом [20]. Содержание водорастворимых фенольных соединений (танинов) определяли методом Левенталья – Нейбауера

[21], аскорбиновой кислоты – титриметрическим методом с применением 2,6-дихлорфенолиндофенола натрия [22]. Аналитическая повторяемость опытов трехкратная из смешанной пробы. Экспериментальные данные обработаны статистически с помощью компьютерных программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 10.

Результаты и их обсуждение

Исследование содержания аскорбиновой кислоты, танинов, серы, золы позволило определить каждое из них в листьях *H. decorata* (табл. 1) в период цветения. Установлено, что концентрация серы, аскорбиновой кислоты и танинов сравнительно одинаковая в контроле и пгт. Кольцово. Меньшим содержанием данных элементов (в 1,1–2,4 раза) отличались листья произрастающих растений в центральной части г. Бердска. Однако показание зольности в листьях *H. decorata* в Бердске и Кольцово в 1,4–1,5 раза выше, чем в контроле.

Таблица 1 / Table 1

Содержание золы, серы, танинов, аскорбиновой кислоты ($M \pm m$) в листьях *Hosta decorata* в урбанизированной среде Новосибирской области
The content of ash, sulfur, tannins, ascorbic acid ($M \pm m$) in *Hosta decorata* leaves in the urbanized environment of the Novosibirsk region

Место сбора проб / Sample collection location	Серы, % / Sulfur, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г / Ascorbic acid, mg/100 g	Танины, % / Tannins, %	Зола, % / Ash, %
Контроль/ Control	0,020±0,0007	8,79±0.30	2,26±0,046	8.85±0,35
Бердск / Berdsk	0,009±0,0003	6,60±0.30	1,86±0,020	13,33±0,26
Кольцово / Koltsovo	0,022±0,0006	8,73±0.32	2,67±0,054	13.11±0,34

Примечание. Различия достоверны при уровне значимости $P = 0,95$.

Note. Differences are significant at the $P = 0,95$ significance level.



Анализ показал двукратное увеличение содержания серы в листьях растений *H. albomarginata*, произрастающих в Бердске ($0,021 \pm 0,0005\%$), по сравнению с Кольцово ($0,011 \pm 0,0009\%$). Причем концентрация зольных элементов в листьях

растений этого вида в 1,2 раза выше в условиях Бердска. Однако показатели содержания танинов в листьях *H. albomarginata* в условиях Кольцово выше в 1,5 раза, а аскорбиновой кислоты в 1,6 раза, чем в Бердске (рис. 2).

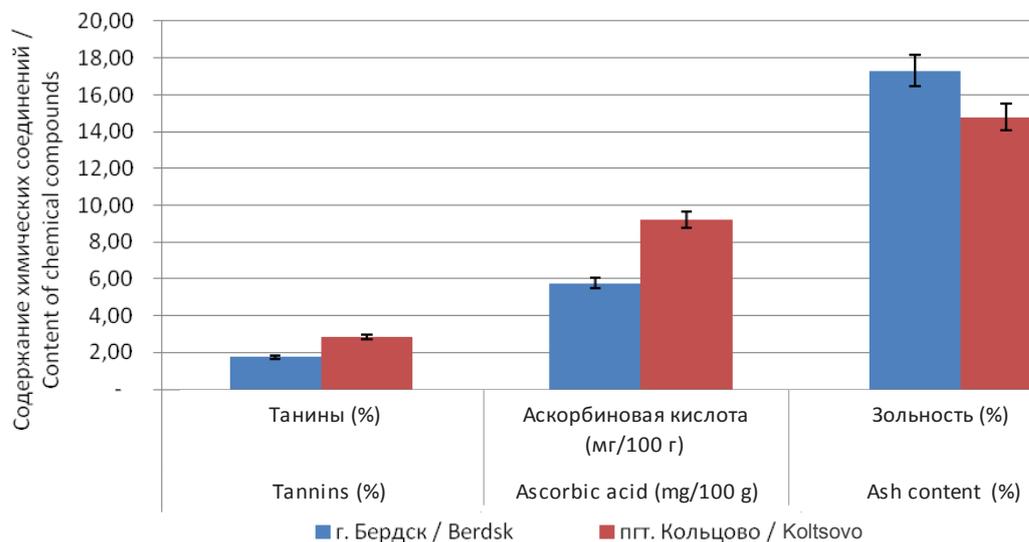


Рис. 2. Гистограмма распределения в листьях *Hosta albomarginata* химических соединений в городской среде г. Бердска и пгт. Кольцово (цвет online)

Fig. 2. Histogram of the distribution of chemical compounds in the leaves of *Hosta albomarginata* in the urban environment of Berdsk and the settlement Koltsovo (color online)

При сравнении показателей этих же химических элементов в листьях *H. lancifolia* в условиях Кольцово и контроля (ЦСБС) установлена такая же закономерность. Содержание аскорбиновой кислоты было в 1,5 раза и танинов в 1,7 раза больше в листьях растений, выращиваемых в более

экологически чистых условиях (контроль), чем в Кольцово (рис. 3). Однако накопление зольных веществ в листовом аппарате в условиях Кольцово происходило в 1,7 раза интенсивнее ($8,85 \pm 0,35\%$). Также количественное содержание серы в 1,4 раза превышало аналогичные значения в контроле.

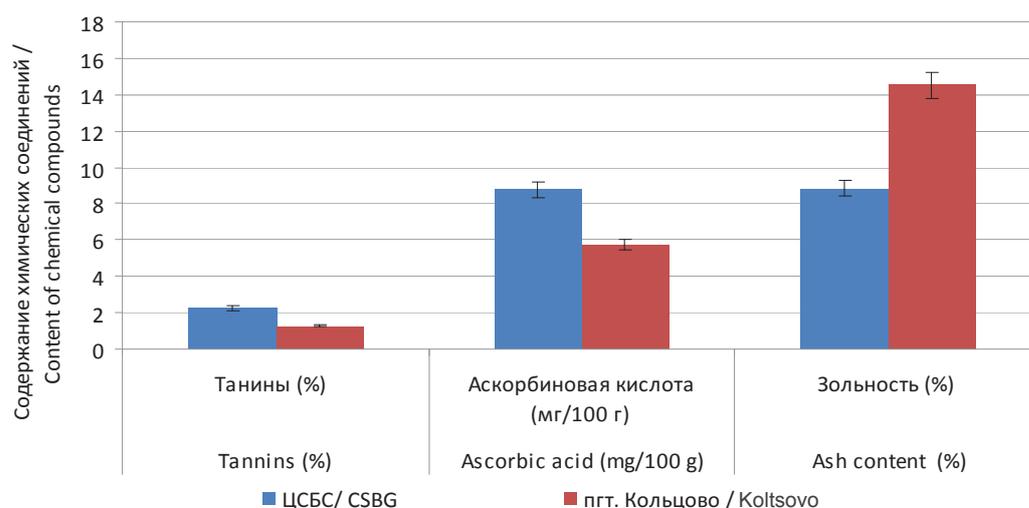


Рис. 3. Гистограмма распределения в листьях *Hosta lancifolia* химических соединений в ЦСБС и пгт. Кольцово (цвет online)

Fig.3. Histogram of the distribution of chemical compounds in *Hosta lancifolia* leaves in CSBG and settlement Koltsovo (color online)



Исследование содержания данных веществ в листьях *I. hybrida* (табл. 2) показало, что они аккумулируют серу в 1,3 раза, а золу в 2,0 раза больше в урбанизированной среде по сравнению с контролем. Концентрация аскорбиновой кислоты, танинов в листьях *I. hybrida*, произрастающих в Бердске,

в 1,3–1,4 раза меньше, чем в контроле. В городской среде Кольцово и Бердска содержание зольности в листьях исследуемого *I. hybrida* повышена в 2,7–4 раза. Однако концентрация серы в контроле и Кольцово одинакова, тогда как аскорбиновой кислоты и танинов уменьшена в 1,3–1,4 раза.

Таблица 2 / Table 2

Содержание золы, серы, танинов, аскорбиновой кислоты ($M \pm m$) в листьях *Iris hybrida* в условиях городской среды

The content of ash, sulfur, tannins, ascorbic acid ($M \pm m$) in *Iris hybrida* leaves in an urban environment

Место сбора проб / Sample collection location	Сера, % / Sulfur, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г / Ascorbic acid, mg/100 g	Танины, % / Tannins, %	Зола, % / Ash, %
Контроль / Control	0,013±0.0005	9,21±0.13	2,93±0.040	4,44±0.13
Бердск / Berdsk	0,017±0.0008	6,63±0.29	2,07±0.034	16,07±0.49
Кольцово / Koltsovo	0,130±0.0009	8,73±0.14	2,21±0.063	11,00 ±0.17

Примечание. Различия достоверны при уровне значимости $P = 0,95$.
Note. Differences are significant at the $P = 0,95$ significance level.

Сравнение габитуальной и феноритмической устойчивости у исследованных видов в городской среде и контроле показало, что морфометрические показатели, а именно: высота растения, длина и ширина листа, у последних развиты значительно мощнее. Так, высота контрольных

растений *H. decorata* превышает аналогичные значения в условиях города в 2,6–3,6 раза, а количество сформированных за период вегетации листьев в 1,8–3 раза (табл. 3). Поверхность ассимиляционного аппарата больше в 1,4–2,3 раза у контрольных растений.

Таблица 3 / Table 3

Феноритмические и морфометрические показатели *Hosta decorata* в 2020 г. в условиях городской среды Новосибирской области

Phenorhythmic and morphometric parameters of *Hosta decorata* in 2020 in the urban environment of Novosibirsk Region

Место сбора проб / Sample collection location	Дата отрастания цветения / Date of regrowth blooms	Высота, см / Height, cm	Длина : ширина листа, см / Length : sheet width, cm	Количество листьев, шт. / Number of leaves, pc
Контроль / Control	<u>12.05±0,4</u> 26.06±0,5	94,3±0.1	<u>25,9±0.7</u> 14,6±0,6	54,2±0.8
Бердск / Berdsk	<u>05.05 ±0,4</u> 10.07 ±0,5	26,1±0.9	<u>18,2±0.4</u> 9,0±0,3	30,4±0.5
Кольцово / Koltsovo	<u>06.05±0,4</u> 15.07±0,5	35,3±0.4	<u>17,0±0.6</u> 6,0±0,5	18,4 ±0.2

Примечание. Различия достоверны при уровне значимости $P = 0,95$.
Note. Differences are significant at the $P = 0,95$ significance level.

Наблюдение за ритмом роста и развития исследуемых видов показало, что их отрастание в городской среде ускорено из-за быстрого схода снега в городской среде. За период с мая по июль у растений в городской среде наблюдалось замедление развития и цветение наступало позднее на 14–19 дней по сравнению со сроками в контроле. В целом, изученные виды в городской среде Бердска и Кольцово прошли все фенологические фазы развития, от отрастания

до цветения, отличались толерантностью при культивировании в миксбордерах с другими цветочно-декоративными растениями (рис. 4).

Заключение

При оценке состояния зеленых насаждений *I. hybrida*, *H. lancifolia*, *H. albomarginata*, *H. decorata* в городской среде Бердска и Кольцово впервые установлено, что они приспособлены к условиям городской среды, несмотря на то что морфоло-



а/а



б/б

Рис. 4. *Hosta decorata* и *Iris hybrida* в цветниках Бердска (а) и Кольцово (б) Новосибирской области

Fig. 4. *Hosta decorata* and *Iris hybrida* in the flower beds of Berdsk (a) and Koltsovo (b) of the Novosibirsk region

трические показатели вегетативных органов меньше контрольных растений, они проходят все фенологические фазы развития от отрастания до цветения. Фитохимический анализ показал, что синтез аскорбиновой кислоты и танинов в листьях *I. hybrida*, *H. lancifolia*, *H. albomarginata*, *H. decorata* у контрольных растений усилен и ослаблен в условиях городской среды Бердска и Кольцово. Известно, что урбанизированная среда оказывает влияние на окислительные процессы вторичных метаболитов, влияющих на толерантность клеточного аппарата у растений [2]. Таким образом, установлено, что уровень концентрации танинов и аскорбиновой кислоты в листьях растений в ответ на загрязнение городской среды понижен. Однако концентрация зольных элементов в листьях цветочно-декоративных растений в условиях городской среды значительно повышена по сравнению с контрольными растениями. Специфика количественного содержания серы и зольности в листьях отличается у изученных видов. В городской среде листья *I. hybrida*, *H. lancifolia*, *H. albomarginata*, *H. decorata* аккумулируют в 1,4–1,7 раза больше зольных элементов, таких как калий, кальций, магний, железо, марганец, цинк и др., которые, как известно, находятся в золе после удаления органических веществ из фитомассы [3]. На основании полученных результатов более напряженная экологическая ситуация среди городов складывается таким образом: Бердск > Кольцово > ЦСБС (Советский район, г. Новосибирск). Условия городской среды слу-

жат стрессовым фактором и вызывают у растений так называемый адаптационный синдром [23]. По результатам оценки биохимических, морфометрических, ритмологических показателей исследованные виды можно расположить следующим образом в порядке убывания устойчивости в цветниках городской среды: *H. lancifolia* > *H. albomarginata* > *H. decorata* > *I. hybrida*.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2019 году». Новосибирск: Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области, 2020. 159 с.
2. Усманов И. Ю., Рахманкулова З. Ф., Кулагин А. Ю. Экологическая физиология растений. М.: Логос, 2001. 224 с.
3. Кавеленова Л. М., Здеветский А. Г., Огневенко А. Я. К специфике содержания зольных веществ в листьях древесных растений в городской среде в условиях лесостепи (на примере Самары) // Химия раст. сырья. 2001. № 3. С. 85–90.
4. Syso A. I., Syromlya T. I., Myadelets M. A., Cherevko A. S. Ecological and biogeochemical assessment of elemental and biochemical composition of the vegetation of anthropogenically disturbed ecosystems (based on the example of *Achillea millefolium* L.) // Contemporary Problems of Ecology. 2016. Vol. 9, № 5. P. 643–651. <https://doi.org/10.1134/S1995425516050164>
5. Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Chaplygin V. A., Bauer T. V., Zamulina I. V. Content and distribution of heavy metals in herbaceous plants under the effect of



- industrial aerosol emissions // *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. Vol. 174. P. 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.05.011>
6. Седельникова Л. Л. Оценка элементного состава кра-роднева как биоиндикатора экологического состояния урбанизированной среды // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23, № 5. С. 62–66. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-05-62-66>
 7. Sedelnikova L. L., Tsandekova O. L. Ash content of ornamental plants in urban environment (through the example of cities of the Novosibirsk region) // *Chemistry for Sustainable Development*. 2020. Vol. 28. P. 412–417. <https://doi.org/10.15372/CSD2020247>
 8. Седельникова Л. Л., Цандекова О. Л. К специфике содержания химических элементов и зольности в листьях травянистых растений в условиях города Искитим Новосибирской области // *Химия раст. сырья*. 2021. № 1. С. 213–218. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2021018413>
 9. Last F. T. Effects of atmospheric sulphur compounds on natural and man-made terrestrial and aquatic ecosystems // *Agriculture and Environment*. 1982. Vol. 7, iss. 3–4. P. 299–387. [https://doi.org/10.1016/0304-1131\(82\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0304-1131(82)90022-4)
 10. Honour S. L., Bell J. N., Ashenden T. W., Cape J. N., Power S. A. Responses of herbaceous plants to urban air pollution: Effects on growth, phenology and leaf surface characteristics // *Environmental Pollution*. 2009. Vol. 157, iss. 4. P. 1279–1286. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.11.049>
 11. Smirnoff N. Vitamin C. The metabolism and functions of ascorbic acid in plants // *Advances in Botanical Research*. 2011. Vol. 59. P. 107–177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385853-5.00003-9>
 12. Kim C. S., Kim K. H., Lee K. R. Phytochemical constituents of the leaves of *hosta longipes* // *Natural Product Sciences*. 2014. Vol. 20, iss. 2. P. 86–90.
 13. Wei A., Fu B., Wang Y., Zhai X., Xin X., Zhang Ch., Cao D., Zhang X. Involvement of NO and ROS in sulfur dioxide induced guard cells apoptosis in *Tagetes erecta* // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. Vol. 114. P. 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.01.024>
 14. Dababneh M. F., Protska V. V., Kyslychenko O. A., Zhuravel I. O. The study of *Hosta lancifolia* rhizomes with roots, leaves and flowers volatile components // *Der Pharma Chemica*. 2016. Vol. 8, № 20. P. 214–219.
 15. Liu D., Zhao S., Guo L., Wang X. Resource evaluation and applications of *hosta* cultivars // *Acta Horticulturae*. 2017. Vol. 1185. P. 91–99. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1185.14>
 16. Sharma A., Shahzad B., Rehman A., Bhardwaj R., Landi M., Zheng B. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress // *Molecules*. 2019. Vol. 24, № 13. P. 2452. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
 17. Liu Y.-X., Xu W.-L., Huang P.-P., Cheng S.-W., Zhang Q.-B., Zhou Q.-X. Effects of combined Cu-Pb-Zn contaminants on Sn tolerance and accumulation in perennial flowers // *Journal of Agro-Environment Science*. 2021. Vol. 40, № 6. P. 1190–1197. <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1486>
 18. Yang L., He J. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicological aspects of the genus *Hosta* (Liliaceae): A comprehensive review // *Journal of Ethnopharmacology*. 2021. Vol. 265. №. 113323. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113323>
 19. ГОСТ 24027.2–80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М. : Изд-во стандартов, 1981. 126 с.
 20. Мочалова А. Д. Спектрометрический метод определения серы в растениях // *Сельское хозяйство за рубежом*. 1975. № 4. С. 17–21.
 21. Коренская И. М., Ивановская Н. П., Измалкова И. Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие антраценпроизводные простые фенолы, лигнаны, дубильные вещества : учебное пособие для вузов. Воронеж : Воронежский государственный университет, 2007. С. 50–51.
 22. Неверова О. А. Практикум по биохимии для студентов вузов. Кемерово : КемТИПП, 2005. 69 с.
 23. Пахомова В. М. Основные положения современной теории стресса и неспецифический адаптационный синдром у растений // *Цитология*. 1995. Т. 37, № 1/2. С. 66–88.

References

1. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Novosibirskoj oblasti v 2019 godu» [State Report “On the state and environmental protection of the Novosibirsk Region in 2019”]. Novosibirsk, Ministry of Natural Resources and Ecology of the Novosibirsk Region, 2020. 159 p. (in Russian).
2. Usmanov I. Yu., Rakhmankulova Z. F., Kulagin A. Yu. *Ekologicheskaya fiziologiya rasteniy* [Ecological Physiology of Plants]. Moscow, Logos Publ., 2001. 224 p. (in Russian).
3. Kavelenova L. M., Zdetovetsky A. G., Ognevenko A. Ya. To the specifics of the content of ash substances in the leaves of woody plants in the urban environment in the conditions of forest-steppe (on the example of Samara). *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2001, no. 3, pp. 85–90 (in Russian).
4. Syso A. I., Syromlya T. I., Myadelets M. A., Cherevko A. S. Ecological and biogeochemical assessment of elemental and biochemical composition of the vegetation of anthropogenically disturbed ecosystems (based on the example of *Achillea millefolium* L.). *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, vol. 9, no. 5, pp. 643–651. <https://doi.org/10.1134/S1995425516050164>
5. Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Chaplygin V. A., Bauer T. V., Zamulina I. V. Content and distribution of heavy metals in herbaceous plants under the effect of industrial aerosol emissions *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 174, pp. 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.05.011>
6. Sedelnikova L. L. Estimation of the elemental composition of the redwood as a bioindicator of the ecological



- condition of the urbanized environment. *Ecology and Industry of Russia*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 62–66 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-05-62-66>
7. Sedelnikova L. L., Tsandekova O. L. Ash content of ornamental plants in urban environment (through the example of cities of the Novosibirsk region). *Chemistry for Sustainable Development*, 2020, vol. 28, pp. 412–417. <https://doi.org/10.15372/CSD2020247>
 8. Sedelnikova L. L., Tsandekova O. L. On the specifics of the content of chemical elements and ash content in the leaves of herbaceous plants in the conditions of the city of Iskitim, Novosibirsk region. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 213–218 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021018413>
 9. Last F. T. Effects of atmospheric sulphur compounds on natural and man-made terrestrial and aquatic ecosystems. *Agriculture and Environment*, 1982, vol. 7, iss. 3–4, pp. 299–387. [https://doi.org/10.1016/0304-1131\(82\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0304-1131(82)90022-4)
 10. Honour S. L., Bell J. N., Ashenden T. W., Cape J. N., Power S. A. Responses of herbaceous plants to urban air pollution: Effects on growth, phenology and leaf surface characteristics. *Environmental Pollution*, 2009, vol. 157, iss. 4, pp. 1279–1286. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.11.049>
 11. Smirnoff N., Vitamin C. The metabolism and functions of ascorbic acid in plants. *Advances in Botanical Research*, 2011, vol. 59, pp. 107–177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385853-5.00003-9>
 12. Kim C. S., Kim K. H., Lee K. R. Phytochemical constituents of the leaves of *hosta longipes*. *Natural Product Sciences*, 2014, vol. 20, iss. 2, pp. 86–90.
 13. Wei A., Fu B., Wang Y., Zhai X., Xin X., Zhang Ch., Cao D., Zhang X. Involvement of NO and ROS in sulfur dioxide induced guard cells apoptosis in *Tagetes erecta*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, vol. 114, pp. 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.01.024>
 14. Dababneh M. F., Protska V. V., Kyslychenko O. A., Zhuravel I. O. The study of *Hosta lancifolia* rhizomes with roots, leaves and flowers volatile components. *Der Pharma Chemica*, 2016, vol. 8, no. 20, pp. 214–219.
 15. Liu D., Zhao S., Guo L., Wang X. Resource evaluation and applications of *hosta* cultivars. *Acta Horticulturae*, 2017, vol. 1185, pp. 91–99. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1185.14>
 16. Sharma A., Shahzad B., Rehman A., Bhardwaj R., Landi M., Zheng B. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 13, pp. 24–52. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
 17. Liu Y.-X., Xu W.-L., Huang P.-P., Cheng S.-W., Zhang Q.-B., Zhou Q.-X. Effects of combined Cu-Pb-Zn contaminants on Sn tolerance and accumulation in perennial flowers. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, vol. 40, no. 6, pp. 1190–1197. <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1486>
 18. Yang L., He J. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicological aspects of the genus *Hosta* (Liliaceae): A comprehensive review. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, vol. 265, no. 113323. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113323>
 19. GOST 24027.2-80. *Syr'e lekarstvennoe rastitel'noe. Metody opredeleniya vlazhnosti, sodержaniya zoly, ekstraktivnykh i dubil'nykh veshchestv, efirnogo masla* [Medicinal vegetable raw materials. Methods for determining humidity, ash content, extractive and tannins, essential oil]. Moscow, Izd-vo standartov, 1981. 126 p. (in Russian).
 20. Mochalova A. D. Spectrometric method for determination of sulfur in plants. *Agriculture Abroad*, 1975, no. 4, pp. 17–21 (in Russian).
 21. Korenskaya I. M., Ivanovskaya N. P., Izmalkova I. E. *Lekarstvennye rasteniya i lekarstvennoe rastitel'noe syr'e, sodержashchie antracenproizvodnye prostye fenoly, lignany, dubil'nye veshchestva: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Medicinal plants and medicinal plant raw materials containing anthracene derivatives of simple phenols, lignans, tannins. Textbook for universities]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 2007. 87 p. (in Russian).
 22. Neverova O. A. *Praktikum po biohimii dlya studentov vuzov* [Workshop on biochemistry for university students]. Kemerovo, KemTIPP Publ., 2005. 69 p. (in Russian).
 23. Pakhomova V. M. The main provisions of the modern theory of stress and nonspecific adaptation syndrome in plants. *Cytology*, 1995, vol. 37, no. 1/2, pp. 66–88 (in Russian).

Поступила в редакцию 04.03.2022; одобрена после рецензирования 15.03.2022; принята к публикации 20.03.22
The article was submitted 04.03.2022; approved after reviewing 15.03.2022; accepted for publication 20.03.22