

## БИОХИМИЯ

УДК 581.1: 581.5  
DOI: 10.26456/vtbio304

### **ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО БЕЛКА И СВОБОДНОГО ПРОЛИНА В ГАЗОННЫХ РАСТЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

**М.Г. Половникова<sup>1</sup>, О.Л. Воскресенская<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Кубанский государственный университет физической культуры, спорта  
и туризма, Краснодар

<sup>2</sup>Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

В условиях городской среды в вегетативных органах газонных растений (клевер луговой, ежа сборная, мятлик луговой, овсяница луговая) определяли содержание общего белка и свободного пролина. В работе использовались растения трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g<sub>2</sub>) и субсенильные (ss). В условиях техногенного загрязнения у газонных растений наблюдались существенные отклонения в белковом обмене, что проявлялось в снижении содержания общего белка. Содержание белка в начале роста растений увеличивалось, что, очевидно, связано с притоком данного вещества в растущие листья, а в период цветения и плодообразования его концентрация в вегетативных органах падала. Действие антропогенных загрязнителей привело к увеличению содержания свободного пролина у всех исследованных растений во все фазы развития. Наибольшее содержание свободного пролина в листьях газонных растений выявлено для клевера лугового в промышленной части города, злаки характеризовались меньшими показателями. Высокий уровень пролина был обнаружен у газонных растений в средневозрастном генеративном состоянии, что совпадает с периодом интенсивных метаболических процессов, происходящих во время цветения и плодоношения растений. Исследование адаптационных механизмов растений в ответ на действие загрязняющих веществ делает возможным выявление признаков, обеспечивающих устойчивость растений в условиях антропогенного загрязнения, с целью их использования в процессе разработки методов рекультивации и подборки устойчивых к техногенному загрязнению растений.

**Ключевые слова:** клевер луговой, мятлик луговой, ежа сборная, овсяница луговая, онтогенез, городская среда, загрязнение, общий белок, свободный пролин.

**Введение.** Создание экологически благоприятной среды в городах – важнейшая проблема современности. Одним из путей ее решения является высаживание растений, выполняющих средообразующие, средоулучшающее и средорегулирующие функции. Среди важнейших функций зеленых насаждений городов, наряду с рекреационной, структурно-планировочной и декоративно-художественной, выделяют санитарно-гигиеническую функцию, заключающуюся в очистке окружающей среды от токсичных веществ. Поэтому для озеленения городов следует отбирать такие растения, которые не только декоративные, но и способны активно поглощать загрязнители, адсорбировать пыль, и при этом быть достаточно высоко устойчивыми к разным поллютантам (Литвинова, 1986).

В связи с обострением экологической ситуации, связанной с увеличением антропогенного загрязнения окружающей среды, важное значение приобретает изучение комплексного воздействия антропогенных факторов на растительные организмы, произрастающие в условиях экологического стресса в урбофитоценозах. Исследование адаптационных механизмов растений в ответ на действие загрязняющих веществ делает возможным выявление признаков, обеспечивающих устойчивость растений в условиях антропогенного загрязнения, с целью их использования в процессе разработки методов рекультивации и подборки устойчивых к техногенному загрязнению растений.

Особенностью стрессового состояния растений в таких условиях является повышенное образование активных форм кислорода (АФК), которое вызывает появление свободных радикалов, перекисное окисление липидов, инактивацию белков и ферментов, нарушение целостности мембран, обмена веществ (Чиркова, 2002; Половникова, Воскресенская, 2008, 2018; Колупаев, 2016). Стресс сопровождается не только чрезмерной генерацией АФК, но и изменением активности антиоксидантной системы (ферментативной и неферментативной) в ту или другую сторону. Уровень антиоксидантной защиты и способность быстро реагировать на опасную ситуацию увеличением активности определяют устойчивость растений к стрессу. Поэтому изучение особенностей обменных процессов, выявление защитных механизмов и на основе этого установление степени устойчивости растений к стрессовым факторам в условиях техногенного загрязнения является важной задачей в подборке видов для озеленения урбанизированных территорий.

**Методика.** Объектами исследования служили газонные растения – овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) и клевер луговой (*Trifolium pratense* L.).

Изучались растения трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g<sub>2</sub>) и субсенильные (ss). Определение онтогенетических состояний проводили на основе признаков-маркеров онтогенетических состояний: форма и размер листовой пластинки, ветвление побеговой и корневой систем (Жукова, 1995).

Исследования проводились на территории города Йошкар-Олы (Республика Марий Эл) в условно чистой (контроль) – ООПТ «Сосновая роща», среднезагрязненной (парк им. XXX-летия ВЛКСМ) и загрязненной (ЗАО «Завод Искож») зонах. Выбор районов исследования основывался на данных химического анализа атмосферного воздуха и почвы, которые были проведены нами на базе филиала Центра лабораторного анализа и технических измерений по Республике Марий Эл и по данным Государственного доклада о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл.

Определение содержания общего белка в листьях газонных растений осуществляли по методу Лоури с раствором Фолина. Содержание белка в растительном материале вычисляли по формуле:

$$X = (A \times E) / H, \text{ где}$$

A – концентрация белка, найденная по графику, и соответствующая оптической плотности испытанного раствора или показания прибора, переведенные на  $\text{ctg } \alpha$ ;

E – разведение;

H – навеска растительного материала.

Определение содержания свободного пролина в листьях газонных растений проводили по методу Бэйтса. Содержание пролина в растительном материале вычисляли по формуле:

$$X = (A \times E) / H, \text{ где}$$

A – концентрация свободного пролина, найденная по графику и соответствующая оптической плотности испытанного раствора;

E – разведение;

H – навеска растительного материала (Большой практикум..., 2006).

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «STATISTICA». Достоверность различий обсуждалась при 5% уровне значимости.

**Результаты и обсуждение.** Белки являются основными компонентами для построения всех структурных элементов клетки, осуществляют биологический катализ, регуляторные и сократительные процессы, защиту от внешних воздействий. Синтез белка зависит от условий внешней среды и является определенным маркером адаптивного потенциала растения к неблагоприятным факторам (Косулина, 1993).

В ходе исследования было обнаружено (рис. 1), что по мере увеличения загрязнения окружающей среды происходило снижение содержания общего белка в листьях газонных растений на всех этапах онтогенетического развития. Особенно высокими параметрами отличались особи клевера лугового (рис. 1), у которых как в контрольной зоне, так и в районах с разной степенью загрязнения наблюдалось повышенное содержание общего белка по сравнению с другими видами. При этом максимальные показатели были отмечены у виргинильных растений в лесопарке «Сосновая роща» (836,05 мг/г), что выше значений средневозрастных генеративных и субсенильных растений в 1,1 раза. С увеличением антропогенной нагрузки количество белка в листьях *v*-особей *T. pratense* уменьшалось на 12-17%, *g*<sub>2</sub>-особей – на 14-34%, *ss*-особей – на 21-24%.

Ежа сборная по сравнению с клевером луговым имела несколько пониженные значения данного параметра (рис. 1), но по характеру содержания общего белка в разных онтогенетических состояниях наблюдалась аналогичная тенденция: количество элемента уменьшалось от прегенеративного периода к постгенеративному во всех районах исследования. При этом также, как и у клевера лугового с усилением техногенной нагрузки на среду наблюдалось довольно резкое снижение данного параметра у особей *D. glomerata* в среднем в 1,1-1,2.

Содержание общего белка в контрольной зоне во всех онтогенетических состояниях для *P. pratensis* и *F. pratensis* было ниже значений *T. pratense* и *D. glomerata* примерно в 1,2-1,8 раза. Однако подобно клеверу луговому и еже сборной, большое количество белка в листьях этих видов сосредотачивалось в виргинильном состоянии. По мере увеличения загрязнения окружающей среды содержание общего белка у всех возрастных состояний мятлика лугового и овсяницы луговой снижалось, и в среднем составило в среднезагрязненном районе 434-536 мг/г, в загрязненном районе – 409-499,08 мг/г (рис. 1).

Использование трехфакторного дисперсионного анализа позволило установить, что на содержание общего белка в листьях влияют все три фактора: вид ( $P < 10^{-6}$ ), местообитание ( $P < 10^{-6}$ ) и онтогенетическое состояние ( $P < 10^{-6}$ ). Так же важно взаимодействие факторов вид – местообитание ( $P < 10^{-6}$ ), вид – онтогенетическое состояние ( $P < 10^{-6}$ ) и местообитание – онтогенетическое состояние ( $P < 10^{-6}$ ). Значимо взаимодействие всех трех факторов ( $P < 10^{-6}$ ).

Пролин – аминокислота, которая участвует в защитных реакциях, стабилизируя цитоплазму. Стресс-зависимая аккумуляция пролина является универсальной ответной реакцией растений на неблагоприятные изменения условий среды.

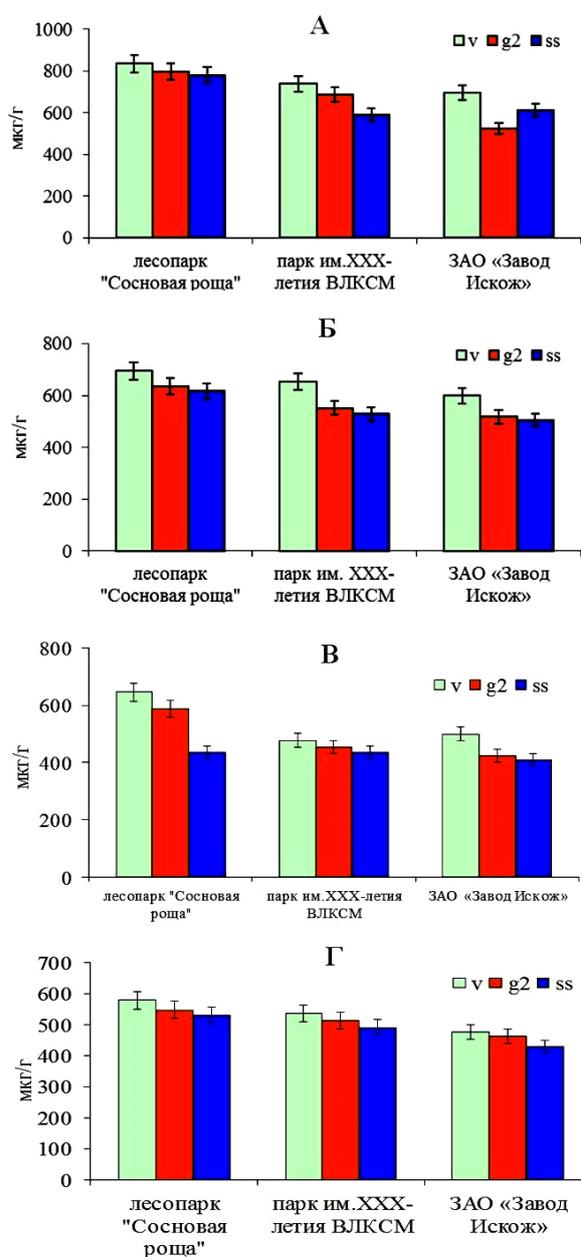


Рис. 1. Содержание общего белка в листьях газонных растений в условиях городской среды (А – клевер луговой, Б – ежа сборная, В – мятлик луговой, Г – овсяница луговая)

Это связано с тем, что содержание свободного пролина в растительных клетках многократно возрастает в ответ на различные стрессорные факторы: засуху, засоление, повышение или понижение температуры, недостаток питательных веществ, токсическое действие

тяжелых металлов, газообразных загрязнителей и т.д. Пролин легко транспортируется по растению, что делает его более конкурентоспособным по сравнению с антиоксидантными ферментами. В растениях накопление пролина во время стресса происходит как за счет увеличения скорости его синтеза, так и за счет ингибирования его деградации. Баланс синтеза и деградации пролина является одним из важных элементов механизма устойчивости к стрессу (Кузнецов, 1999; Радюкина, 2008; Карташов, 2008).

Сравнение количества пролина в онтогенезе травянистых растений на исследованных местообитаниях выявило значительные колебания этого показателя (рис. 2). Характер накопления аминокислоты в прегенеративном и генеративном периодах развития растений, как на участках контрольной зоны, так и в загрязненной зоне был направлен в сторону ее повышения. Действие антропогенных загрязнителей привело к увеличению содержания пролина во все фазы развития растений, поскольку с усилением загрязнения окружающей среды происходило накопление активных форм кислорода (Половникова, Воскресенская, 2008, 2018, 2020). Наибольшее содержание пролина было характерно для клевера лугового в средневозрастном генеративном состоянии во всех районах исследования (рис. 2). При этом максимальное содержание (3,75 мг/г сухой массы) данной аминокислоты наблюдалась в местообитаниях с усиленной техногенной нагрузкой, что в 3,9 раза выше показателя контрольной зоны.

Аналогичная тенденция изменения содержания пролина в листьях проявлялась у растений, находящихся в виргинильном состоянии. Несмотря на то, что количество аминокислоты также возрастало по мере усиления загрязнения окружающей среды, однако даже в районах с интенсивной антропогенной нагрузкой она оставалась ниже на 42%, чем у средневозрастных генеративных растений, а по мере старения тканей растений (ss-состояние) наблюдалось снижение данного показателя в 3,5 раза по сравнению с v-состоянием и в 6 раз по сравнению с g<sub>2</sub>-состоянием.

Если сравнивать содержание пролина клевера лугового (неустойчивый вид) с количеством пролина ежи сборной, мятлика лугового и овсяницы луговой (рис. 2), которые по классификации В.С. Николаевского (1979) относятся к среднеустойчивым и устойчивым видам, то наблюдались сходные результаты, т.е. максимальное содержание пролина приходилось на средневозрастное генеративное состояние, а переход на постгенеративный период развития приводил к снижению количества аминокислоты.

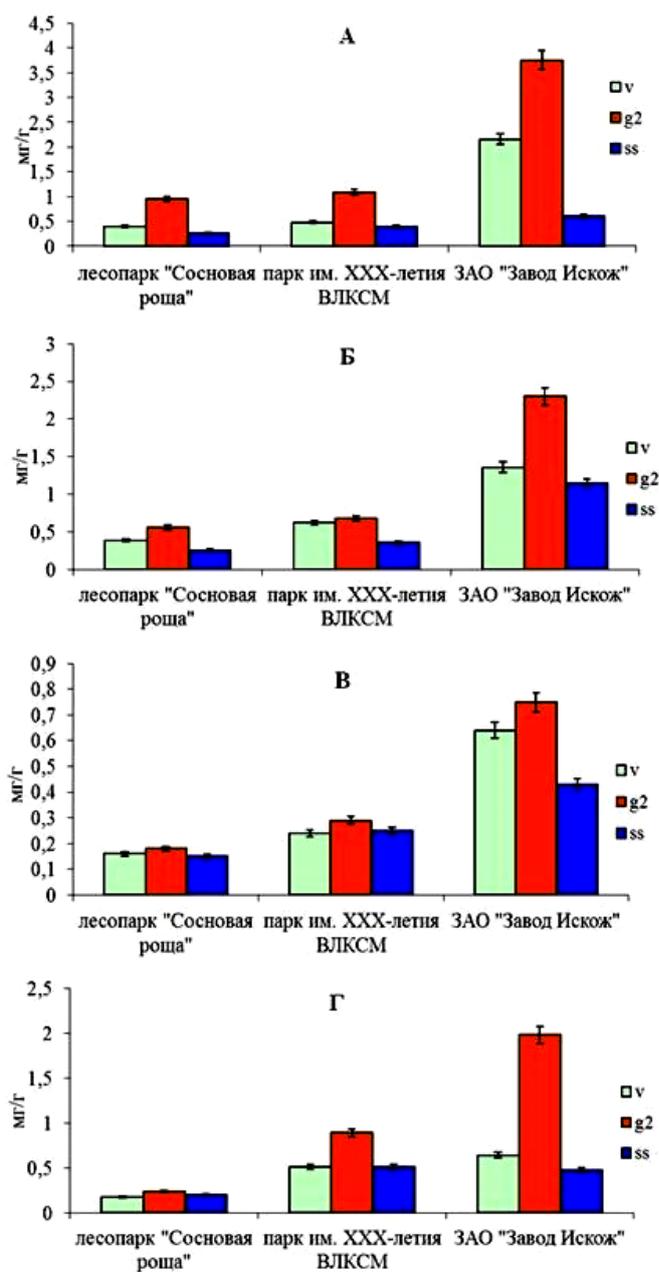


Рис. 2. Содержание свободного пролина в листьях газонных растений в условиях городской среды (А – клевер луговой, Б – ежа сборная, В – мятлик луговой, Г – овсяница луговая)

В отличие от клевера лугового овсяница луговая и мятлик луговой имели достаточно низкие значения, а ежа сборная занимала промежуточное положение между ними, поскольку для более

устойчивых видов (ежа сборная, мятлик луговой, овсяница луговая) по сравнению с неустойчивым (клевер луговой) характерна достаточно высокая экологическая стабильность, которая выражается в меньших затратах потенциальных возможностей растений к восстановлению и преодолению физиолого-биохимических нарушений под действием техногенной нагрузки на окружающую среду.

Используя трехфакторный дисперсионный анализ установлено, что на содержание свободного пролина в листьях влияют ( $P < 10^{-6}$ ) все три фактора: местообитание, вид и онтогенетическое состояние. Так же важно взаимодействие факторов вид – местообитание ( $P < 10^{-6}$ ), вид – онтогенетическое состояние ( $P < 10^{-6}$ ) и местообитание – онтогенетическое состояние ( $P < 10^{-6}$ ). Значимо взаимодействие всех трех факторов ( $P < 10^{-6}$ ).

**Заключение.** Рост растений в условиях техногенного загрязнения вызывает существенные отклонения в белковом обмене, что проявляется в снижении содержания общего белка у исследуемых видов. При этом наибольшее содержание общего белка во всех местообитаниях было характерно для клевера лугового в виргинильном состоянии, что выше показателей средневозрастных генеративных и субсенильных растений в 1,3 раза. Злаки по сравнению с клевером луговым имели более низкие значения, но по характеру содержания общего белка в разных онтогенетических состояниях наблюдалась аналогичная тенденция: количество белка уменьшалось в ряду  $v \rightarrow g_2 \rightarrow ss$ . Приведенные материалы свидетельствуют о том, что содержание общего белка в начале роста растений увеличивается, что, очевидно, связано с притоком данного вещества в растущие листья, а в период цветения и плодообразования его концентрация в вегетативных органах падает. Это снижение содержания связано с усиленным расходом белка на процессы генеративного развития растений, обусловленного качественно новым типом обмена веществ. Данная закономерность имела место у всех растений вне зависимости от условий произрастания.

Наибольшее содержание свободного пролина в листьях газонных растений выявлено для клевера лугового в промышленной части города, злаки характеризовались меньшими показателями. При этом накопление свободного пролина в листьях газонных растений во всех районах исследования происходило от виргинильных особей к средневозрастным генеративным с последующим падением в субсенильном состоянии. Следовательно, наиболее высокий уровень свободного пролина было характерно для средневозрастного генеративного состояния, что совпадает с периодом интенсивных метаболических процессов, происходящих во время цветения и плодоношения растений. При этом содержание свободного пролина в

некоторых тканях и органах растений может достигать 1,5-2%. Характерной особенностью пролина является его безвредность в высоких концентрациях для тканей, не находящихся в состоянии покоя. Это согласуется с уже отмеченным фактом накопления свободного пролина в тканях до уровня, невозможного для любой другой свободной аминокислоты. Подобная картина изменений содержания пролина говорит о сложных процессах адаптации, протекающих в растениях, она имеет свою специфику в каждую фазу развития и для каждого вида, а также при наступлении неблагоприятных условий (засуха, засоление, понижение температуры, некоторые инфекции, антропогенное загрязнение и т.д.). Изменение уровня накопления пролина может быть использовано для сравнительной характеристики уровня нагрузки на растения как в естественной среде обитания, так и в условиях повышенной антропогенной нагрузки (Кузнецов, 1999; Радюкина, 2008).

Таким образом, одним из механизмов адаптации растений к меняющейся напряженности факторов городской среды является изменение содержания общего белка и свободного пролина на разных этапах онтогенетического развития. Это рассматривается как естественный механизм защиты от антропогенного загрязнения, направленный на сохранение чувствительных внутриклеточных компонентов. У растений, устойчивых к различным воздействиям, процессы генерации активных форм кислорода заторможены, что во многом определяется активным функционированием в них систем детоксикации. Возможно, именно с этим связано накопление свободного пролина в неблагоприятных условиях, что способствует приобретению растениями устойчивости не только к действующему агенту, но и к другим воздействиям, вызывающим образование активных форм кислорода. Высокие параметры окислительно-восстановительных процессов в растениях являются показателем общей активной жизнедеятельности и активного сопротивления повреждающему действию неблагоприятных факторов.

#### **Список литературы**

- Большой практикум по биоэкологии: учебное пособие 2006 / О.Л. Воскресенская, Е.А. Алябьева, М.Г. Половникова. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. Ч. 1. 107 с.*
- Жукова Л.А. 1995. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола: РИИК «Ланар». 224 с.*
- Карташов А.В. 2008. Роль антиоксидантных систем при адаптации дикорастущих видов растений к солевому стрессу // Физиология растений. Т.55. С. 521*
- Колупаев Ю.Е. 2016. Антиоксиданты растительной клетки, их роль в АФК-*

- сигналинге и устойчивости растений // Успехи современной Биологии. Т. 136. № 2. С. 181-198.
- Косулина Л.Г.* 1993. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды / Л. Г. Косулина, Э. К. Луценко, В.А. Аксенова. Ростов н/д: Изд-во Рост. ун-та. 240 с.
- Кузнецов В.В.* 1999. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция / В.В. Кузнецов Н.И. Шевякова // Физиология растений. Т. 46. С. 321-336.
- Литвинова Л.И.* 1986. Зеленые насаждения и охрана окружающей среды / Л.И. Литвинова, Ф.М. Левон. К.: Здоровье. 64 с.
- Николаевский В.С.* 1979. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука. 278 с.
- Половникова М.Г., Воскресенская О.Л.* 2008. Изменение активности компонентов системы антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды // Физиология растений. Т. 55. № 5. С. 777-785.
- Половникова М.Г., Воскресенская О.Л.* 2018. Содержание пероксидных группировок в вегетативных органах газонных растений в условиях урбанизированной среды // Вестник Тверского государственного университета. Серия Биология и экология. № 4. С. 242-249.
- Половникова М.Г., Воскресенская О.Л.* 2020. Содержание фенольных соединений в вегетативных органах газонных растений в условиях урбанизированной среды // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. № 4 (32). С. 76-85.
- Радюкина Н.Л.* 2008. Участие пролина в системе антиоксидантной защиты у шалфея при действии NaCl и параквата // Физиология растений. Т. 55. №5. С. 721-730.
- Чиркова Т.В.* 2002. Физиологические основы устойчивости растений. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 244 с.

## **FEATURES OF THE TOTAL PROTEIN CONTENT OF AND FREE PROLINE IN LAWN PLANTS IN AN URBAN ENVIRONMENT**

**М.Г. Polovnikova<sup>1</sup>, О.Л. Voskresenskaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kuban State University of Physical Education, Sport and Tourism, Krasnodar

<sup>2</sup>Mari State University, Yoshkar-Ola

In the urban environment, the content of total protein and free proline was determined in the vegetative organs of lawn plants (meadow clover, hedgehog, meadow bluegrass, meadow fescue). Plants of three age states were used in the work: virginal (v), middle-aged generative (g2), and subsenile (ss). Under conditions of technogenic pollution, lawn plants had significant deviations in protein metabolism, which manifested itself in a decrease in the total protein content. The protein content at the beginning of plant growth increased, which is obviously due to the influx of this

substance into the growing leaves, and during flowering and fruit formation, its concentration in the vegetative organs fell. The effect of anthropogenic pollutants led to an increase in the content of free proline in all studied plants in all phases of development. The highest content of free proline in the leaves of lawn plants was found for meadow clover in the industrial part of the city, cereals were characterized by lower indicators. A high level of proline was found in lawn plants in the middle-aged generative state, which coincides with a period of intense metabolic processes occurring during flowering and fruiting of plants. The study of the adaptive mechanisms of plants in response to the action of pollutants makes it possible to identify signs that ensure the stability of plants in conditions of anthropogenic pollution, in order to use them in the process of developing methods of reclamation and selection of plants resistant to man-induced pollution.

**Keywords:** *Trifolium pratense, Poa pratensis, Dactylis glomerata, Festuca pratensis, ontogenesis, urban environment, pollution, total protein, free proline.*

*Об авторах:*

ПОЛОВНИКОВА Марина Григорьевна – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», 350015, Краснодар, ул. им. Буденного, 161, e-mail: marinapmg19@mail.ru.

ВОСКРЕСЕНСКАЯ Ольга Леонидовна – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой экологии, директор института естественных наук и фармации, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», 424002, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, 60, e-mail: voskres2006@rambler.ru.

Половникова М.Г. Особенности содержания общего белка и свободного пролина в газонных растениях в условиях городской среды / М.Г. Половникова, О.Л. Воскресенская // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2023. № 2(70). С. 26-36

Дата поступления рукописи в редакцию: 31.10.22  
Дата подписания рукописи в печать: 03.06.23