

СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО ФОСФОРА В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ ГАЗОННЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Аннотация.

Актуальность и цели. Изучение фосфорного обмена газонных растений, произрастающих в районах с различной степенью антропогенной нагрузки, позволяет вскрыть механизмы экологической устойчивости и возможности корректирования условий создания качественных дерновых покрытий в городах, а также выявить изменения основных физиолого-биохимических процессов в растениях на разных этапах онтогенеза.

Материалы и методы. Объектами изучения являлись газонные растения (*Dactylis glomerata* L. и *Poa pratensis* L.) трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g₂) и субсенильные (ss). Исследования проводились на территории города Йошкар-Олы Республики Марий Эл. Для анализа были взяты пробы в условно чистой, среднезагрязненной и загрязненной зонах. Содержание общего фосфора определяли фотоколориметрическим методом по «синему» фосфорномолибденовому комплексу. Для характеристики процессов передвижения фосфора использовали коэффициент передвижения (Кп).

Результаты. В условиях городской среды в вегетативных органах газонных растений (ежа сборная, мятлик луговой) определяли содержание общего фосфора. По мере усиления загрязнения среды уменьшалось содержание общего фосфора в листьях и корнях газонных растений. В ходе онтогенеза от виргинильного состояния до генеративного этот показатель увеличивался с последующим падением в субсенильном состоянии во всех зонах исследования. При этом отчетливо проявлялся базипетальный характер распределения фосфора в вегетативных органах газонных растений. В целом более высокое содержание общего фосфора в вегетативных органах было характерно для особей *D. glomerata*, по сравнению с особями *P. pratensis*.

Выводы. Содержание общего фосфора в вегетативных органах газонных растений зависит от видовых особенностей и биологического возраста газонных растений, а также от условий окружающей среды. С возрастом фосфор покидает стареющие клетки и его количество в старых тканях ниже, чем в молодых. Усиление негативного антропогенного влияния окружающей среды на газонные растения вызывает снижение содержания общего фосфора в их вегетативных органах.

Ключевые слова: ежа сборная, мятлик луговой, онтогенез, городская среда, загрязнение, содержание общего фосфора.

O. L. Voskresenskaya, M. G. Polovnikova

CONTENT OF TOTAL PHOSPHORUS IN VEGETATIVE ORGANS OF LAWN PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE URBAN ENVIRONMENT

Abstract.

Background. The study of phosphorus metabolism of lawn plants growing in areas with different degrees of anthropogenic load allows to identify changes in the basic physiological and biochemical processes in plants at different stages of ontogenesis, to reveal the mechanisms of environmental sustainability and the possibility of correcting the conditions for creating high-quality turf coatings in cities.

Materials and methods. The objects of study were lawn plants (*Dactylis glomerata* L. and *Poa pratensis* L.) of three age States: virginal (v), middle-aged generative (g₂) and subsenile (ss). The research was carried out in the territory of the city of Yoshkar-Ola of the Mari El Republic. Samples were taken for analysis in conditionally clean, medium-polluted and polluted zones. The content of total phosphorus was determined by photocolorimetric method on the "blue" phosphor-molybdenum complex. To characterize the processes of phosphorus movement, the coefficient of motion (K_p) was used. Data processing was carried out by statistical method.

Results. In the urban environment in the vegetative organs of lawn plants (*D. glomerata*, *P. pratensis*) determined the content of total phosphorus. As pollution increased, the total phosphorus content in the leaves and roots of lawn plants decreased. During ontogenesis from the virginal state to the generative state, this index increased followed by a fall in the subsenile state in all zones of the study. In this case, the basipetal distribution of phosphorus in the vegetative organs of lawn plants was clearly manifested. In general, a higher content of total phosphorus in the vegetative organs was characteristic of individuals of *D. glomerata* compared to individuals of *P. pratensis*.

Conclusions. The content of total phosphorus in the vegetative organs of lawn plants depends on the species and biological age of lawn plants, as well as environmental conditions. Phosphorus leaves aging cells with age and its concentration in old tissues is usually lower than in young ones. An increase in the negative anthropogenic environmental impact on lawn plants causes a decrease in the total phosphorus content in their vegetative organs.

Keywords: *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*, ontogenesis, urban environment, pollution, the content of total phosphorus.

Введение

В процессе роста и развития растения оказываются под влиянием большого количества разнообразных, сложных экологических факторов, особенно в условиях урбанизированной среды. Адаптация растительных организмов к комплексу этих воздействий осуществляется в результате перестройки физиологических процессов, что приводит, в свою очередь, к изменению биохимического состава, в частности содержания фосфорных соединений, которые играют важную роль в клеточном метаболизме.

Пул фосфорных соединений у различных видов растений непостоянен и зависит от многих факторов: уровень различных фосфорсодержащих веществ меняется при недостатке воды, воздействии высоких и низких температур, засолении, инфекциях. Значительное влияние на обмен соединений

фосфора оказывает минеральное питание, особенно азотное и фосфорное. Установлено, что промышленные выбросы также вызывают нарушения в фосфорном обмене растений [1–4].

На протяжении многих лет при исследовании особенностей минерального питания растений изучение соединений фосфора в метаболизме является одним из ключевых моментов. Однако, несмотря на это, особенности фосфорного обмена у газонных растений в условиях городской среды изучены недостаточно.

Поэтому исследование адаптации растений к условиям урбанизированной среды является важной задачей экологии растений, позволяющей выявить изменения основных физиолого-биохимических процессов в растениях на разных этапах онтогенеза в изменяющейся среде и вскрыть механизмы экологической устойчивости и возможности корректирования условий создания качественных дерновых покрытий в городах.

Материалы и методы

В ходе исследований физиолого-адаптационного процесса у растений в онтогенезе экологическая толерантность по отношению к экологическим и антропогенным факторам изучалась с использованием концепции дискретного описания онтогенеза [5].

Объектами изучения были газонные растения, представители семейства *Poaceae*: ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) – рыхлодерновинное многолетнее травянистое растение, и мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) – плотнодерновинно-длиннокорневищное многолетнее травянистое растение.

В онтогенезе этих растений выделяют четыре периода с десятью возрастными состояниями: латентный (семена), прегенеративный (проростки, ювенильные, имматурные, виргинильные растения), генеративный (молодые, средневозрастные, старые генеративные растения) и постгенеративный (субсенильные, сенильные растения). В работе мы использовали растения трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g₂) и субсенильные (ss). Определение онтогенетических состояний проводили на основе признаков-маркеров онтогенетических состояний: форма и размер листовой пластинки, ветвление побеговой и корневой систем [5].

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

В каждом местообитании закладывалось десять площадок размером 1 × 1 м. На этих площадках отбиралось по 5–10 растений каждого онтогенетического состояния, которые в дальнейшем использовали в физиолого-биохимических исследованиях.

Перед озолением навеску растительного образца измельчали и взвешивали в тиглях на аналитических весах (навеска 0,2 г). Тигли помещали в му-

фельную печь при температуре 60–80 °С на 1–1,5 ч. Далее для полного озоления тигли выдерживали при температуре 400–450 °С в течение 4–5 ч. Полученную золу растворяли в 2 мл концентрированной соляной кислотой и данную вытяжку использовали для определения фосфора [6].

Содержание общего фосфора определяли фотоколориметрическим методом по «синему» фосфорномолибденовому комплексу. Оптическую плотность устанавливали при длине волны 670 нм. Содержание фосфора находили по калибровочной кривой (оценка по содержанию P_2O_5 в мг на 1 л раствора). Содержание общего фосфора в растительном материале вычисляли в мг на г сухого вещества по соответствующей формуле [6].

Для характеристики процессов передвижения фосфора использовали коэффициент передвижения (K_p) [7], равный отношению содержания элементов в листьях к таковому в корнях:

$$K_p = \frac{K_{\text{листья}}}{K_{\text{корни}}},$$

где $K_{\text{листья}}$ – содержание элемента в листьях; $K_{\text{корни}}$ – содержание элемента в корнях.

В табл. 1 представлены средние арифметические из трех независимых экспериментов, каждый из которых проведен в 3-кратной повторности, и их стандартные отклонения. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «STATISTICA». Достоверность различий обсуждалась при 95 % уровне значимости ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Исследование листьев ежи сборной и мятлика лугового показало, что максимальные значения показателя содержания общего фосфора были характерны для растений, произрастающих в условно чистом местообитании (см. табл. 1). При этом достоверно значимых различий показателей содержания общего фосфора у растений в различных онтогенетических состояниях не было обнаружено ни в одном из исследованных районов города (30–34 мг/г).

По мере увеличения степени загрязненности среды в исследованных зонах города наблюдалось снижение показателей содержания общего фосфора у растений. Достоверные различия в содержании фосфора были обнаружены как между видами, так и между группами растений, находящихся в одном и том же онтогенетическом состоянии.

В ходе онтогенеза этот показатель у изученных видов газонных растений увеличивался от виргинильного состояния до генеративного с последующим падением в субсенильном состоянии как в парковой, так и в промышленной зонах. При этом пиковое значение было характерно для средневозрастных генеративных растений ежи сборной в среднезагрязненном районе (32,7 мг/г). Содержание фосфора в виргинильных особях *D. glomerata* было ниже на 23 %, а в субсенильных – на 11 % по сравнению с генеративными особями в данном районе ($p < 0,05$).

Фосфор в листьях мятлика лугового в разных онтогенетических состояниях накапливался согласно той же схеме, что и у предыдущего вида, однако эти показатели были ниже в 1,3 раза ($p < 0,05$).

Таблица 1
Содержание общего фосфора в вегетативных органах газонных растений в условиях городской среды (мг/г)

Вид	Условно чистый район			Среднезагрязненный район			Загрязненный район		
	v	g ₂	ss	v	g ₂	ss	v	g ₂	ss
Листья									
Ежа сборная	30,5 ± 0,08	33,2 ± 0,08	32,5 ± 0,06	25,2 ± 0,05	32,7 ± 0,06	29,3 ± 0,05	13,7 ± 0,04	15,2 ± 0,02	14,2 ± 0,01
Мятлик луговой	30,2 ± 0,07	34,0 ± 0,08	31,0 ± 0,07	20,2 ± 0,02	26,2 ± 0,01	23,0 ± 0,02	12,7 ± 0,03	17,3 ± 0,02	14,1 ± 0,01
Корни									
Ежа сборная	4,9 ± 0,011	3,8 ± 0,002	5,3 ± 0,004	4,8 ± 0,001	3,6 ± 0,002	4,8 ± 0,002	9,8 ± 0,002	4,8 ± 0,004	7,9 ± 0,006
Мятлик луговой	5,3 ± 0,003	6,1 ± 0,004	3,6 ± 0,001	4,8 ± 0,002	6,2 ± 0,004	3,4 ± 0,003	5,9 ± 0,001	6,0 ± 0,004	3,5 ± 0,002

Примечание. Онтогенетические состояния растений: v – виргинильное; g₂ – средневозрастное генеративное и ss – субсенильное.

Самые низкие значения данного параметра отмечены у особей *D. glomerata* и *P. pratensis* в промышленном районе (12,7–17,3 мг/г). При этом средневозрастные генеративные особи мятлика лугового имели максимальный показатель – 17,3 мг/г. Содержание общего фосфора в генеративных растениях ежи сборной было на 13 % меньше, по сравнению с предыдущим видом ($p < 0,05$). Между субсенильными особями исследуемых видов не было выявлено статистических различий в содержании общего фосфора. При этом различия были установлены между другими онтогенетическими группами. Так, постгенеративные растения ежи сборной и мятлика лугового имели значения на 7 и 19 % ниже ($p < 0,05$), чем средневозрастные генеративные, тогда как у прегенеративных растений эта разница составила 10 и 27 % соответственно ($p < 0,05$).

При оценке содержания общего фосфора в корнях ежи сборной было установлено, что во всех районах исследования в генеративных растениях количество данного элемента было минимальным и варьировало от 3,6 до 4,8 мг/г. При этом показатели концентрации этого макроэлемента в подземных органах виргинильных и субсенильных особей в условно чистой и среднезагрязненной зонах не имели различий. Достоверные различия были выявлены для v- и ss-растений промышленного района (7,9–9,8 мг/г) ($p < 0,05$).

Содержание фосфора в корнях мятлика лугового было довольно высоким в виргинильном и средневозрастном генеративном состояниях во всех изученных районах исследования, достигая 4,8–6,2 мг/г. В корнях субсенильных растений из различных мест произрастания количество фосфора было достоверно меньше, т.е. снижалось почти в 2 раза ($p < 0,05$).

Прегенеративные и генеративные особи мятлика лугового характеризовались повышенным содержанием общего фосфора в корнях, по сравнению с растениями ежи сборной, произрастающих в условно чистом и парковой зонах, тогда как в загрязненном районе наблюдалась иная картина: высокие показатели имели виргинильные и субсенильные особи *D. glomerata*.

Содержание фосфора в корнях всех изученных видов было существенно ниже, чем в листьях (в 5–8 раз) ($p < 0,05$).

Различная аккумуляция минеральных элементов в надземных и подземных органах растений может служить показателем их разной абсорбционной емкости. Для характеристики аккумуляционных способностей органов у исследуемых видов был рассчитан коэффициент передвижения фосфора (Кп) у растений из различных мест произрастания и проанализированы изменения этого показателя в процессе их развития. При этом особи ежи сборной и мятлика лугового в ходе онтогенеза во всех местообитаниях характеризовались способностью накапливать фосфор в надземной части растения (рис. 1), поскольку коэффициент передвижения был больше единицы.

В целом накопительная способность фосфора в надземной части растения у ежи сборной была выше, чем у мятлика лугового во всех онтогенетических состояниях как в условно чистом, так и среднезагрязненном районах, тогда как в загрязненном районе этот показатель был выше у мятлика лугового. При этом коэффициент передвижения фосфора по мере усиления антропогенной нагрузки существенно снижался у газонных растений (у ежи сборной в 2,7–4,4 раза, у мятлика лугового – 1,9–2,6 раза) ($p < 0,05$).

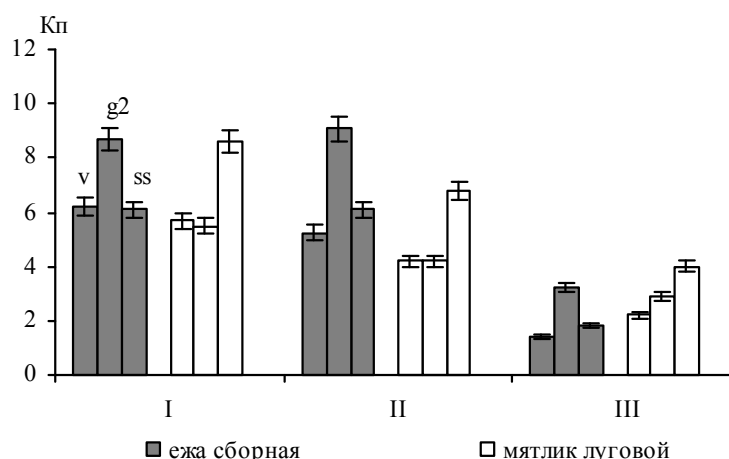


Рис. 1. Коэффициенты передвижения фосфора в газонных растениях. Онтогенетические состояния растений: v – виргинильное; g₂ – средневозрастное генеративное и ss – субсенильное. Районы исследования: I – условно чистый; II – среднезагрязненный; III – загрязненный

Изученные виды газонных растений отличались показателями коэффициента передвижения фосфора в различных возрастных состояниях. У *D. glomerata* максимальные значения коэффициента передвижения имели средневозрастные генеративные особи во всех исследованных районах, а у *P. pratensis* – субсенильные. Показатели данных онтогенетических состояний достоверно отличались от остальных ($p < 0,05$). Если рассматривать аккумулирующую способность виргинильных и субсенильных особей ежи сборной по отношению к фосфору, то существенных различий в коэффициенте передвижения в изученных зонах города не было обнаружено. Значения этих параметров находились примерно на одном уровне и статистически не отличались друг от друга. Аналогичная ситуация наблюдалась и в отношении виргинильных и средневозрастных генеративных особей мятлика лугового в исследованных местообитаниях.

В ходе работы было показано, что характер распределения фосфора по органам и тканям изученных видов изменяется в течение онтогенеза и по мере усиления загрязнения среды. При этом отчетливо проявлялся базипетальный (содержание элемента уменьшалось от листьев к корням) характер распределения фосфора в вегетативных органах газонных растений прегенеративного, генеративного и постгенеративного периодов развития.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что содержание общего фосфора в листьях изученных видов газонных растений было максимальным у средневозрастных генеративных растений, при этом виргинильные и субсенильные особи по количеству фосфора отличались незначительно. Содержание фосфора в корнях исследуемых видов было достоверно ниже ($p < 0,05$), чем в листьях, т.е. наблюдался базипетальный характер распределения фосфора в вегетативных органах исследуемых растений ($K_p > 1$). При этом была установлена выраженная видовая специфичность, позволяю-

шая предположить, что в разных районах каждый вид газонных растений по особому реагирует на условия минерального питания.

Данные авторов, полученные в ходе исследования, подтверждают результаты других исследователей [2, 8, 9], где также показано, что пик накопления фосфора в листьях приходится на средневозрастное генеративное состояние. Обеспеченность фосфором ускоряет переход растений из виргинильного в генеративное состояние, поскольку повышенное количество фосфора необходимо при вступлении растения в фазу плодоношения (генеративное состояние). В этот период наблюдается максимальное накопление неорганического фосфора и фосфора органических соединений.

По мере ухудшения экологического состояния и повышения антропогенной нагрузки на среду наблюдалось снижение содержания общего фосфора в вегетативных органах газонных растений. Это может быть вызвано тем, что растения здесь находятся не только в условиях недостаточного минерального питания (в связи с бедностью урбанизированных почв), но и подвергаются систематическому негативному воздействию загрязнителей атмосферы и почвы в районе функционирования промышленных предприятий и интенсивного автотранспортного потока.

Таким образом, содержание общего фосфора в вегетативных органах газонных растений зависит от видовых особенностей и изменяется в процессе онтогенеза, а также под действием антропогенных факторов среды.

Библиографический список

1. **Алимкулов, С. О.** Биологическая роль фосфора в жизни растений / С. О. Алимкулов, Д. К. Мурадова // Молодой ученый. – 2015. – № 10. – С. 44–47.
2. **Алябышева, Е. А.** Эколого-физиологические особенности популяций гигрофитов / Е. А. Алябышева, О. Л. Воскресенская // Экология и генетика популяций. – Йошкар-Ола : Периодика Марий Эл, 1998. – С. 173, 174.
3. Экология города Йошкар-Олы / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, Т. И. Копылова, Е. В. Сарбаева, А. Н. Баранова. – Йошкар-Ола, 2004. – 200 с.
4. **Чупахина, Г. Н.** Экологические аспекты накопления фосфорных соединений доминантами флоры дюн Куршской косы / Г. Н. Чупахина, Л. В. Малыхина // Вестник Балтийского федерального университета имени И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. – 2006. – № 7. – С. 73–81.
5. **Жукова, Л. А.** Популяционная жизнь луговых растений / Л. А. Жукова. – Йошкар-Ола : Ланар, 1995. – 224 с.
6. Большой практикум по биоэкологии : учеб. пособие / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола : Марийский государственный ун-т, 2006. – Ч. 1. – 107 с.
7. **Коваленский, А. Л.** Основные закономерности формирования химического состава растений / А. Л. Коваленский // Труды Бурятского института ЕН БФСО АН СССР. Сер.: Биохимия. – Улан-Удэ, 1969. – Вып. 2. – С. 6–28.
8. **Малыхина, Л. В.** Динамика общего фосфора в онтогенезе растений-доминантов флоры песчаной гряды Куршской косы / Л. В. Малыхина // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2004. – № 5. – С. 43–47.
9. **Су, Х. С.** Влияние недостатка фосфора на параметры фотосинтеза у растений риса / Х. С. Су, С. Я. Вэн, Я. Ян // Физиология растений. – 2007. – Т. 54, № 6. – С. 833–840.

References

1. Alimkulov S. O., Muradova D. K. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2015, no. 10, pp. 44–47. [In Russian]

2. Alyabysheva E. A., Voskresenskaya O. L. *Ekologiya i genetika populyatsiy* [Ecology and genetics of populations]. Yoshkar-Ola: Periodika Mariy El, 1998, pp. 173, 174. [In Russian]
3. Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A., Kopylova T. I., Sarbaeva E. V., Baranova A. N. *Ekologiya goroda Yoshkar-Oly* [Ecology of Yoshkar-Ola]. Yoshkar-Ola, 2004, 200 p. [In Russian]
4. Chupakhina G. N., Malykhina L. V. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta imeni I. Kanta. Ser.: Estestvennye i meditsinskie nauki* [Bulletin of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and medical sciences]. 2006, no. 7, pp. 73–81. [In Russian]
5. Zhukova L. A. *Populyatsionnaya zhizn' lugovykh rasteniy* [Population life of meadow plants]. Yoshkar-Ola: Lanar, 1995, 224 p. [In Russian]
6. Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A., Polovnikova M. G. *Bol'shoy praktikum po bioekologii: ucheb. posobie* [Big practical work on bioecology: textbook]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy un-t, 2006, part 1, 107 p. [In Russian]
7. Kovalenskiy A. L. *Trudy Buryatskogo instituta EN BFSO AN SSSR. Ser.: Biokhimiya* [Proceedings of the Buryat Institute of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences of the USSR. Series: Biochemistry]. Ulan-Ude, 1969, iss. 2, pp. 6–28. [In Russian]
8. Malykhina L. V. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Kaliningrad State Technical University]. 2004, no. 5, pp. 43–47. [In Russian]
9. Su Kh. S., Ven S. Ya., Yan Ya. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. 2007, vol. 54, no. 6, pp. 833–840. [In Russian]

Воскресенская Ольга Леонидовна

доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой экологии,
директор Института естественных наук и
фармации, Марийский государственный
университет (Россия, г. Йошкар-Ола,
площадь Ленина, 1)

E-mail: voskres2006@rambler.ru

Voskresenskaya Ol'ga Leonidovna

Doctor of biological sciences, professor,
head of the sub-department of ecology,
Director of the Institute of Natural sciences
and Pharmacy, Mari State University
(1 Lenin square, Yoshkar-Ola, Russia)

Половникова Марина Григорьевна

кандидат биологических наук, доцент,
кафедра анатомии и спортивной
медицины, Кубанский государственный
университет физической культуры,
спорта и туризма (Россия, г. Краснодар,
ул. имени Буденного, 161)

E-mail: marinapmg@rambler.ru

Polovnikova Marina Grigor'evna

Candidate of biological sciences, associate
professor, sub-department of anatomy
and sports medicine, Kuban State University
of Physical Culture, Sports and Tourism
(161 Budennogo street, Krasnodar, Russia)

Образец цитирования:

Воскресенская, О. Л. Содержание общего фосфора в вегетативных органах газонных растений в условиях городской среды / О. Л. Воскресенская, М. Г. Половникова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 14–22. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-2.