

УДК 581.1

## ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТОЙ И ПИРАБАКТИНОМ

Гаспирович В.В.<sup>1</sup>, Воденеев В.А.<sup>1</sup>, Морозова Е.Н.<sup>1</sup>, Шерстнева О.Н.<sup>1</sup>, Сурова Л.М.<sup>1</sup>, Сухов В.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Научный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), e-mail: [berbendinarius@yandex.ru](mailto:berbendinarius@yandex.ru)

Проводилось исследование влияния обработки абсцизовой кислотой и пирабактином на фотосинтез у высших растений. Целью исследования являлось определение динамики изменения фотосинтетических параметров после экзогенной обработки растений фитогормонами. В качестве объекта исследования использовались проростки мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) 18-24 дневного возраста. Регистрация параметров фотосинтетической активности проводилась с использованием измерительной системы, включающей газоанализатор и PAM-флуориметр. Было определено, что максимальный биологический эффект наблюдается на следующий день после обработки растений фитогормонами. Наиболее ярко это выражено в форме снижения у обработанных растений уровня ассимиляции углекислого газа на свету при слабых изменениях параметров световой стадии фотосинтеза. На второй, третий и четвертый день эксперимента отличия в значениях параметров между контрольными и обработанными растениями были либо незначительным, либо отсутствовали совсем. Полученные результаты показывают, что максимальный биологический эффект в проростках пшеницы достигается на следующий день после обработки фитогормонами и спадает со временем.

Ключевые слова: АБК, абсцизовая кислота, ПБ, пирабактин, фотосинтез, фитогормоны

## DYNAMICS OF VARIATION OF PHOTOSYNTHETIC PARAMETERS IN WHEAT SEEDLINGS AFTER TREATMENT WITH ABSCISIC ACID AND PYRABACTIN

Gaspirovich V.V.<sup>1</sup>, Vodeneev V.A.<sup>1</sup>, Morozova E.N.<sup>1</sup>, Sherstneva O.N.<sup>1</sup>, Surova L.M.<sup>1</sup>, Sukhov V.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, Russia (603950, Nizhni Novgorod, pr. Gagarina, 23), e-mail: [berbendinarius@yandex.ru](mailto:berbendinarius@yandex.ru)

We investigated influence of treatment with abscisic acid and pyrabactin on photosynthesis in higher plants. Purpose of investigation was determination of dynamics of variation of photosynthetic parameters after exogenous treatment of plants with phytohormones. As the object of investigation were used seedlings of wheat (*Triticum aestivum* L.) 18-24 days old. Registration of parameters of photosynthetic activity was made using measuring system consist of gas analyzer and PAM-fluorimeter. It was determined that maximum biological effect appears on the next day after treatment of plants with phytohormones. Most brightly it expressed in reduction of level of assimilation of carbon dioxide at light in treated plants with small changes in parameters of photosynthesis light stage. On the second, third and fourth day of experiment differences in parameters between control and treated plants were minor or entirely not. Obtained results show that maximum biological effect appears on the next day after treatment in wheat seedlings and decrease over time.

Keywords: ABA, abscisic acid, PB, pyrabactin, photosynthesis, phytohormones

Фитогормоны - органические соединения, образующиеся в процессе метаболизма и способные оказывать сильный физиологический эффект в очень малых концентрациях [2]. Существуют несколько групп данных веществ, объединяемых по химизму и физиологическому эффекту [2, 4]. Одними из таких веществ являются абсцизовая кислота (АБК) и ее химический аналог – пирабактин (ПБ).

Абсцизовая кислота относится к группе сесквитерпенов – изопреноидов с 15 атомами углерода [1, 7]. Данный фитогормон вовлечен во многие процессы, протекающие в растительном организме [2, 7]. Наиболее изучаемыми из них являются: формирование ответа на воздействия патогенов [2], формирование устойчивости растений к засухе [2, 3, 6], повышенным температурам и регуляция фотосинтеза [4, 5]. Широкий спектр функций АБК представляет интерес не только в области фундаментальных исследований, но и в сфере сельского хозяйства, как вещество, потенциально способное влиять на продуктивность и выживаемость важных растительных культур. Исследования в этой области имеют множество возможных направлений, но в первую очередь необходимо понять время формирования биологического эффекта при искусственном воздействии фитогормоном. По этой причине, целью данного исследования являлось определение динамики изменения фотосинтетических параметров после экзогенной обработки проростков пшеницы абсцизовой кислотой и пирабактином.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве объекта исследования использовались проростки мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), сорт «Злата». Растения выращивались в климатической камере Binder KBW-240 (Германия) при 24°C в условиях 16-ти часового светового периода на 50% среде Хогланда-Арнона в предварительно промытом и прокаленном песке. В исследованиях использовались проростки 18-24 дневного возраста, разделенные на три категории: контроль, АБК – растения, обрабатываемые абсцизовой кислотой, и ПБ – растения, обрабатываемые пирабактином.

По достижению 18-19 дневного возраста побеги пшеницы опрыскивались раствором фитогормонов из пульверизатора. Контроль опрыскивался раствором, не содержащим фитогормонов. Абсцизовая кислота (Sigma-Aldrich, США) и пирабактин (Sigma-Aldrich, США) сначала разводились в дистиллированной воде до концентрации  $10^{-4}$  М, а затем в мыльном растворе до концентрации  $10^{-5}$  М.

Для регистрации фотосинтетических параметров использовали систему (Heinz Walz GmbH, Германия), состоящую из газоанализатора GFS-3000, ПАМ-флуориметра Dual-PAM-100 и измерительной кюветы Dual-PAM gas-exchange Cuvette 3010-Dual, позволяющей осуществить одновременное измерение параметров световой и темновой стадии фотосинтеза на участке листа. Для эксперимента использовали синий актиничный свет интенсивностью  $239 \text{ мкм м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , длиной волны 460 нм, и насыщающие вспышки интенсивностью  $10000 \text{ мкм м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , длиной волны 635 нм и длительностью 300 мс. Относительная влажность составляла около 60%, концентрация  $\text{CO}_2$  –  $360 \text{ мкл л}^{-1}$ .

Регистрация фотосинтетических параметров производилась в течение 10 минут после 10 минут темновой адаптации. Для анализа использовали такие параметры как  $\Phi_{PSII}^0$  – потенциальный квантовый выход фотосистемы II,  $A_{CO_2}^{hv}$  – уровень ассимиляции  $CO_2$  на свету и  $NPQ_{final}$  – нефотохимическое тушение в момент окончания освещения.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Экзогенная обработка проростков пшеницы абсцизовой кислотой и пирабактином не оказала влияния на изменение величины потенциального квантового выхода фотосистемы II. Ни в один из дней эксперимента не наблюдалось существенных различий (Рис. 1) в значениях данного параметра между контрольными и обработанными растениями. Более того, уровни квантовых выходов внутри каждой группы растений находились почти на стационарном уровне в течение всех четырех дней после обработки. Эта особенность косвенно указывает на отсутствие существенных структурных изменений в фотосинтетическом аппарате и является ожидаемой, так как формирование противоположного эффекта может происходить лишь в условиях критического либо хронического неблагоприятного воздействия, например, во время засухи, засоления почв, гипертермии [4, 6].

В обработанных растениях наблюдалось снижение уровня ассимиляции углекислого газа на свету по сравнению с контролем (Рис. 2). Так, достоверные, минимальные значения данного параметра соответствовали первому дню после обработки. Для проростков пшеницы обработанных абсцизовой кислотой разница с контрольными показателями составила около 30%. Для проростков, обработанных пирабактином, разница составила около 19%. В последующие дни происходило постепенное повышение значений приближенно к уровню контроля, что указывает на снижение биологического эффекта обработки растений фитогормонами. Влияние абсцизовой кислоты на фотосинтетическую активность было подтверждено в ряде работ [2, 4, 5].

Значения нефотохимического тушения в обработанных фитогормонами проростках пшеницы были выше контрольных на второй, третий и четвертый день эксперимента (Рис. 3). Максимальная разница по сравнению с контролем, около 19%, наблюдалась на второй день эксперимента и характерна для проростков пшеницы, обработанных абсцизовой кислотой. Однако, отличия параметров не несли достоверный характер. По этой причине нельзя утверждать, что изменение данного параметра непосредственно являлось биологическим эффектом обработки, несмотря на существующие данные о влиянии АБК на нефотохимическое тушение [4, 5].

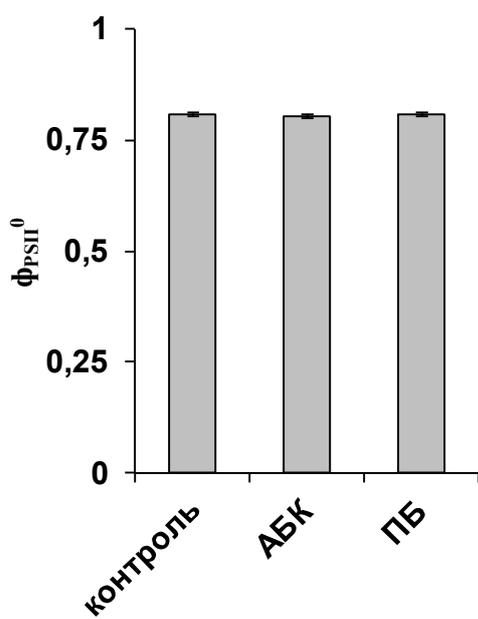
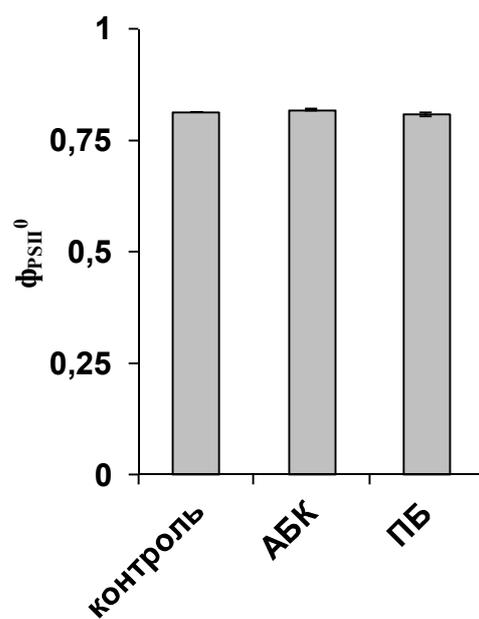
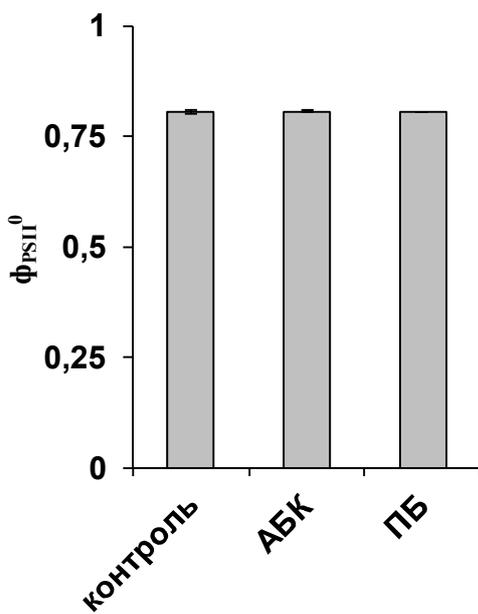
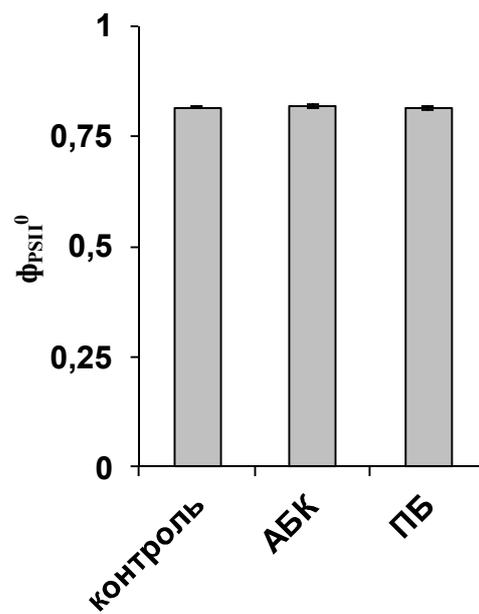
**а****б****в****г**

Рис. 1. Значения потенциального квантового выхода фотосистемы II ( $\phi_{PSII}^0$ ) через 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (г) суток после обработки проростков пшеницы  $10^{-5}$  М абсцизовой кислотой (АБК) и  $10^{-5}$  М пирабактином (ПБ) ( $n = 5$ ), \* -  $p < 0.05$  по сравнению с контролем.

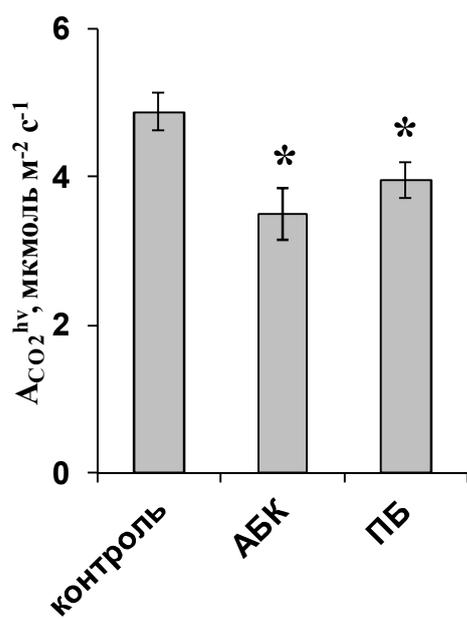
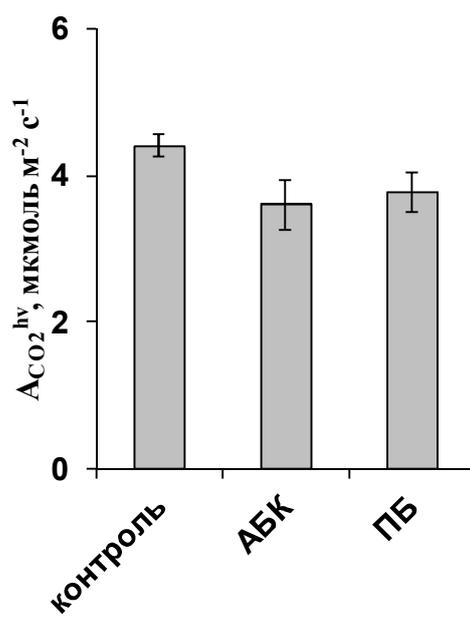
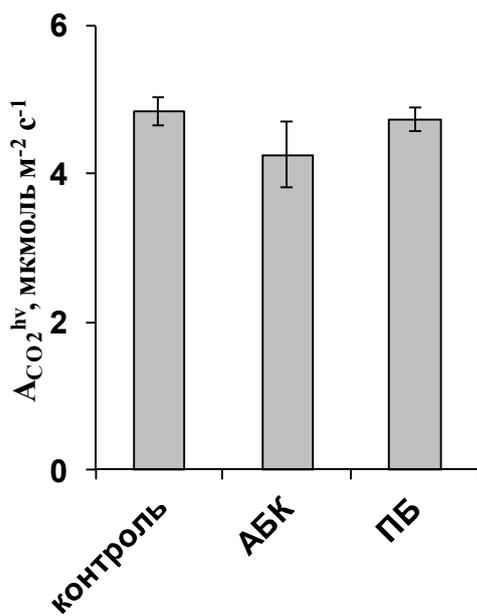
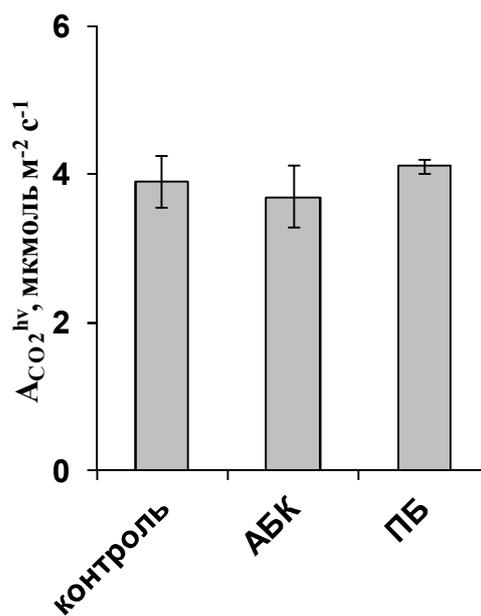
**а****б****в****г**

Рис. 2. Значения ассимиляции  $CO_2$  на свету ( $A_{CO_2}^{hv}$ ) через 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (г) суток после обработки проростков пшеницы  $10^{-5}$  М абсцизовой кислотой (АБК) и  $10^{-5}$  М пирабактином (ПБ) ( $n = 5$ ), \* -  $p < 0.05$  по сравнению с контролем.

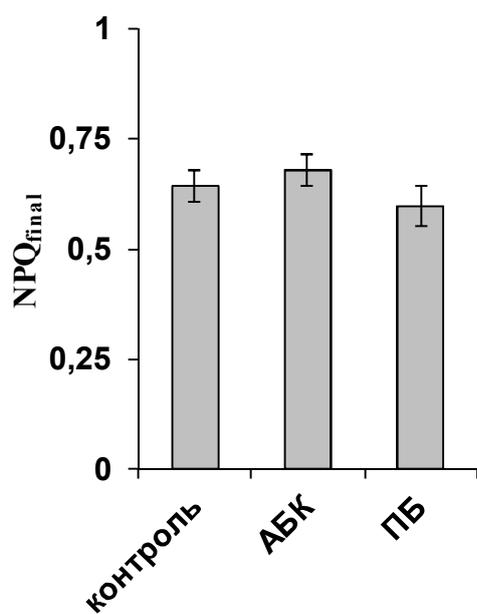
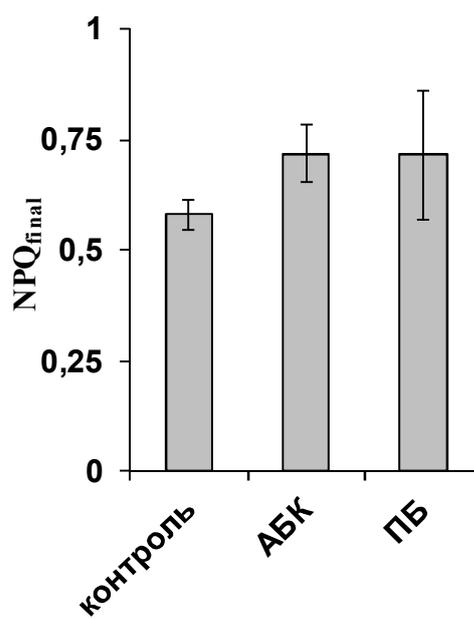
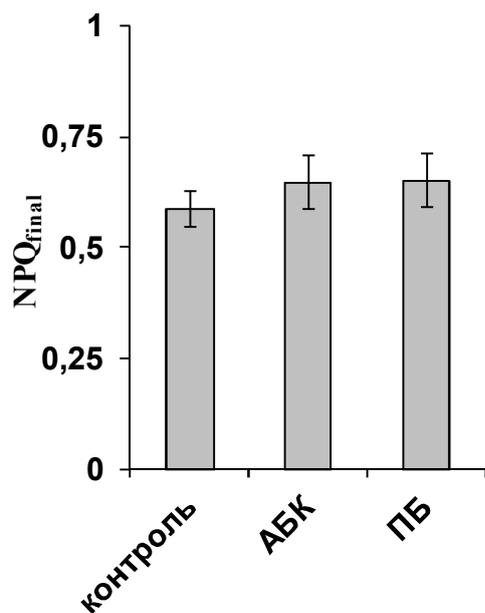
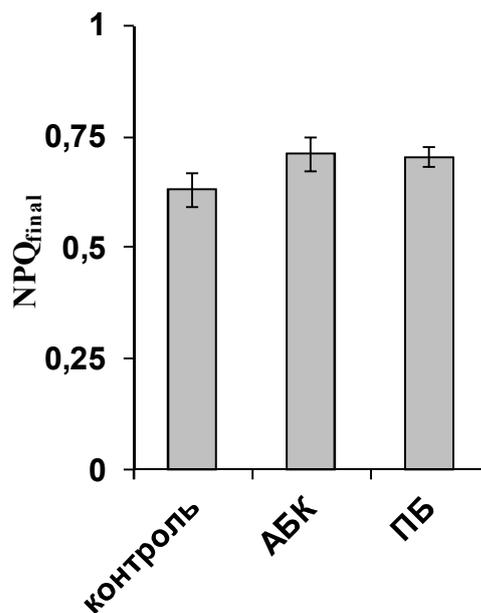
**а****б****в****г**

Рис. 3. Значения величины нефотохимического тушения в момент окончания освещения ( $NPQ_{final}$ ) через 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (г) суток после обработки проростков пшеницы  $10^{-5}$  М абсцизовой кислотой (АБК) и  $10^{-5}$  М пирабактином (ПБ) ( $n = 5$ ), \* -  $p < 0.05$  по сравнению с контролем.

## **Заключение**

Результаты исследования выявили отсутствие каких-либо изменений в величинах потенциального квантового выхода у обработанных абсцизовой кислотой и пирабактином проростков пшеницы по сравнению с контролем, что указывает на отсутствие существенных изменений в структуре фотосинтетического аппарата. Достоверное снижение уровня ассимиляции углекислого газа на свету в обработанных растениях наблюдается через сутки после обработки. В последующие дни происходит постепенное повышение значений данного параметра, что указывает на снижение биологического эффекта обработки фитогормонами. Изменения значений нефотохимического тушения у обработанных растений на второй, третий и четвертый день эксперимента не несли достоверного характера.

Таким образом можно заключить, что максимальный биологический эффект обработки исследуемыми фитогормонами в заданных концентрациях достигается в первый день после опрыскивания. В последующие дни происходит его постепенное снижение.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-26-00098)*

## **Список литературы**

1. Cutler A.J., Krochko J.E. Formation and breakdown of ABA // Trends in plant science. – 1999. – V. 4. № 12. – P. 472 – 478.
2. Garay-Arroyo A., De La Paz Sanchez M., Garcia-Ponce B., Azpeitia E., Alvarez-Buy E.R. Hormone symphony during root growth and development // Developmental dynamics. – 2012. – V. 241. – P. 1867–1885.
3. Goodger J.Q.D., Schachtman D.P. Re-examining the role of ABA as the primary long-distance signal produced by water-stressed roots // Plant signaling & behavior. – 2010. – V. 5. № 10. – P. 1298-1301.
4. Gururani M.A., Venkatesh J., Tran L.S.P. Regulation of photosynthesis during abiotic stress-induced photoinhibition // Molecular Plant. – 2015. – V. 8. – P. 1304 – 1320.
5. Ivanov A.G., Krol M., Maxwell D., Huner N.P.A. Abscisic acid induced protection against photoinhibition of PSII correlates with enhanced activity of the xanthophyll cycle // FEBS Letters. – 1995. – V. 371. № 2. – P. 61-64.
6. Signora L., De Smet I., Foyer C.H., Zhang H. ABA plays a central role in mediating the regulatory effects of nitrate on root branching in Arabidopsis // The plant journal. – 2001. – V. 28. № 6. – P. 655 – 662.

7. Wasilewska A., Vlad F., Sirichandra C., Redko Y., Jammes F., Valon C., Frei dit Frey N., Leung J. An update on abscisic acid signaling in plants and more . . . // Molecular plant. – 2008. – V. 1. № 2. – P. 198 – 217.

**Рецензенты:**

Смирнов В.Ф., д.б.н., профессор, руководитель лаборатории НИИ Химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ФГАОУ ВО «Научный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород;

Охапкин А.Г., д.б.н., профессор заведующий кафедрой ботаники и зоологии, ФГАОУ ВО «Научный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород.