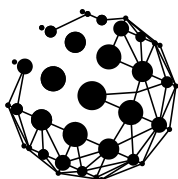


Институт экологии растений и животных УрО РАН

## **ЭКОЛОГИЯ: ФАКТЫ, ГИПОТЕЗЫ, МОДЕЛИ**

Материалы конференции молодых ученых,  
посвященной 100-летию со дня рождения  
академика С.С. Шварца  
01–05 апреля 2019 г.



Екатеринбург

2019

УДК 574 (061.3)

Э 40

**ИЭРиЖ**  
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ  
РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ



**Совет молодых  
учёных ИЭРиЖ**

**Экология:** факты, гипотезы, модели. Материалы конф. молодых ученых, 1–5 апреля 2019 г. / ИЭРиЖ УрО РАН – Екатеринбург: «Реакшен», 2019. – 123 с.

В сборнике опубликованы материалы Всероссийской конференции молодых ученых «Экология: факты, гипотезы, модели», прошедшей в 2019 г. в рамках Международного симпозиума «Экология и эволюция: новые горизонты», посвященного 100-летию со дня рождения академика С.С. Шварца. Мероприятие было организовано Институтом экологии растений и животных УрО РАН, Уральским федеральным университетом им. первого президента России Б.Н. Ельцина и Ботаническим садом УрО РАН. Симпозиум проводился в г. Екатеринбург с 1 по 5 апреля 2019 г.

Работы участников конференции молодых ученых были представлены в форме устных докладов и oral-poster в рамках традиционного конкурса докладов. Исследования молодых ученых посвящены проблемам изучения биологического разнообразия на популяционном, видовом и экосистемном уровнях, этологии, анализу экологических закономерностей эволюции, поиску механизмов адаптации биологических систем к экстремальным условиям, а также популяционным аспектам экотоксикологии, радиобиологии и радиоэкологии.

*В оформлении обложки использована фотография победителя фотоконкурса конференции Авалян Риммы Эдуардовны «оз. Севан».*

ISBN 978-5-907080-99-7

ISBN 978-5-907080-99-7



9 785907 080997

© Авторы, 2019

© ИЭРиЖ УрО РАН, 2019

# Трансгенерационные эффекты у подорожника большого из зон радиоактивного и химического загрязнения

Н.С. Шималина

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

---

*Ключевые слова: Plantago major L., ионизирующее излучение, тяжелые металлы, жизнеспособность семенного потомства, трансгенерационные эффекты*

Импактные регионы – удобный объект для решения задач фундаментальной экологии (Воробейчик, Козлов, 2012). Подобные территории являются уникальными природными полигонами для изучения хронического воздействия факторов различной природы на биоту. На Южном Урале на небольшом удалении друг от друга существуют техногенные зоны с разными типами загрязнения: Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) и зона воздействия Карабашского медеплавильного завода (КМЗ). Значительное число исследований посвящено изучению влияния ионизирующего излучения (Esnault et al., 2010; De Micco et al., 2011; Caplin, Willey, 2018) и тяжелых металлов (Безель и др., 2001; Zvereva et al., 2010; Титов, 2014) на растения. Исследования, в которых сравнивается влияние различных по своей природе факторов на биоту, немногочисленны (Евсева и др., 2008; Pozolotina et al., 2012). Последствия стрессовых воздействий могут проявляться не только у организмов, развивающихся в таких условиях, но и у их потомков после снятия стресса (Mousseau, Fox, 1998; Bruce et al., 2007).

Ранее нами были выявлены различия в биохимическом статусе, уровне генетического разнообразия популяций подорожника большого (*Plantago major* L.) и выполнена оценка качества семенного потомства F1-поколения из зон с разным типом техногенного загрязнения. Так, в зоне радиоактивного загрязнения отмечены высокое содержание малонового диальдегида и активность супероксиддисмутазы (Шималина и др., 2018), а в зоне химического загрязнения – низкая активность супероксиддисмутазы, каталазы и высокая активность пероксидазы по сравнению с фоновыми растениями (Шималина и др., 2017). Анализ микросателлитных локусов показал снижение генетического разнообразия в ценопопуляциях *P. major* из зон техногенного загрязнения,

однако в зоне ВУРСа этот феномен обусловлен снижением миграции в связи с ограничением доступа человека на загрязненную территорию, а в зоне влияния КМЗ – с отбором генотипов, устойчивых к токсическому загрязнению (Шималина, 2018). Оценка качества F1-поколения подорожника большого выявила высокую межпопуляционную изменчивость выживаемости семенного потомства внутри импактных и фоновых зон, поэтому о характере связи данного показателя с уровнем техногенной нагрузки судить сложно. При этом самые низкие значения ростовых показателей отмечены на наиболее загрязненных участках из обеих зон (Шималина и др., 2017, 2018). Цель настоящего исследования – изучение отдаленных последствий действия радиоактивного и химического загрязнения среды у потомков подорожника большого (F2- и F3-поколения) после снятия техногенного стресса.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Подорожник большой (*Plantago major* L.) – многолетнее травянистое поликарпическое растение из семейства Plantaginaceae Juss. Вид диплоидный ( $2n = 12$ ), размножается преимущественно семенами (Хромосомные..., 1969; Онтогенетический..., 1997).

Подробная характеристика участков исследования, уровни радиационной и токсической нагрузки приведены ранее (Karimullina et al., 2018; Шималина и др., 2017). Отметим лишь, что дозовые нагрузки на площадках ВУРСа превышали фоновый уровень в 178–1455 раз, а токсические нагрузки на площадках КМЗ – в 13.8–41.8 раз. В маркировку участков из импактных зон введена нумерация, обозначающая расстояние от источника выбросов (см. рисунок).

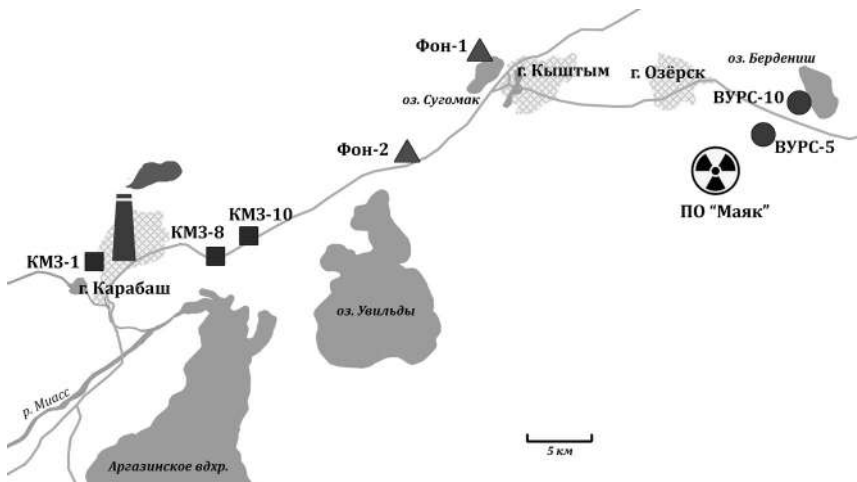


Рисунок. Карта-схема расположения площадок.

В нашей работе приняты следующие обозначения: Р-поколение – родительские растения из природных популяций; F1-поколение – семена, собранные с Р-растений в полевых условиях; F2-поколение – семена, собранные с растений F1-поколения, выращенных на экспериментальных участках в условиях «чистого» выровненного агрофона; F3-поколение – семена, собранные с растений F2-поколения, культивируемых в условиях выровненного агрофона.

Семена подорожника (F1-поколение) собирали на территории Южного Урала (в двух зонах техногенного загрязнения – ВУРС и зона влияния КМЗ, а также на фоновых территориях). Для оценки качества семенного потомства F2-поколения проращивали семена, собранные с 5 растений F1-поколения (по два-три потомка с каждого) из всех ценопопуляций; в случае F3-поколения проращивали семена, собранные с 5 растений F2-поколения (по одному потомку с каждого). Общее число семян, использованных для оценки жизнеспособности F2- и F3-поколений, составило 8313 и 2468 шт. соответственно. В каждый сосуд высевали по 25 семян (3 повторности) и проращивали их методом рулонной культуры в течение трех недель на суспензии, содержащей почву с фоновой площадки и дистиллированную воду (1:10), при температуре +24 °С. Жизнеспособность семян оценивали по комплексу критериев: всхожесть семян, выживаемость проростков, доля проростков с настоящими листьями, длина корня. Для проверки статистических гипотез использовали критерии Краскела-Уоллиса (H) и Манна-Уитни (U-тест). Анализ данных проводили в программах STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc., 2007) и MS Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во всех выборках всхожесть семян и выживаемость проростков были идентичны, поэтому далее будут рассмотрены данные только по выживаемости проростков. В F2-поколении, выращенном в «чистых» условиях, отмечено значимое влияние фактора «участок» на выживаемость проростков ( $H_{(6,96)}=42.7$ ;  $p<0.001$ ). При этом межпопуляционная изменчивость выживаемости была высокой внутри зоны КМЗ: выборка КМЗ-8 значимо отличалась от остальных выборок зоны химического загрязнения (U-тест,  $p<0.001$ ). Низкая выживаемость отмечена в выборках ВУРС-10, ВУРС-5 и Фон-1. Между фоновыми ценопопуляциями отмечены статистически значимые различия (U-тест,  $p<0.001$ ). Как и в F1-поколении, определенной связи выживаемости с уровнем техногенного загрязнения не прослеживается (табл. 1).

Изменчивость показателя «длина корня» в F2-поколении стала меньше по сравнению с F1. Длина корней у проростков в выборках КМЗ-1 и КМЗ-8 была снижена как в F1, так и F2, при этом изменчи-

вость этого показателя во втором поколении уменьшилась по сравнению с первым.

В F3-поколении в выборках КМЗ-1 и КМЗ-8 также наблюдались наименьшие значения показателя «длина корня» (табл. 2). При этом межпопуляционная изменчивость выживаемости F3-поколения снизилась, фактор «участок» был незначим ( $H_{(6,99)} = 11.436$ ;  $p = 0.076$ ).

У F1-поколения в выборке ВУРС-5 была снижена скорость листообразования (Шималина и др., 2018). В F2- и F3-поколениях этого не наблюдалось (табл. 1, 2).

Таблица 1. Показатели жизнеспособности семенного потомства подорожника большого F2-поколения из разных зон.

| Участок | Выживаемость, %   |       | Листообразование, % к выжившим |       | Длина корней, мм  |       |
|---------|-------------------|-------|--------------------------------|-------|-------------------|-------|
|         | Среднее (min-max) | CV, % | Среднее (min-max)              | CV, % | Среднее (min-max) | CV, % |
| ВУРС-10 | 11.8 (0-80.0)     | 186.2 | 84.9 (0.0-100.0)               | 34.4  | 55.5 (40.2-82.5)  | 21.2  |
| ВУРС-5  | 10.5 (2.6-28.0)   | 81.0  | 85.0 (0.0-100.0)               | 29.2  | 62.7 (16.0-86.5)  | 23.3  |
| Фон-1   | 7.0 (12.0-26.7)   | 136.3 | 90.8 (50.0-100.0)              | 14.0  | 48.7 (8.0-81.0)   | 29.4  |
| Фон-2   | 34.3 (0.0-26.7)   | 61.9  | 66.3 (0.0-100.0)               | 36.4  | 55.9 (36.0-69.8)  | 12.9  |
| КМЗ-10  | 34.1 (5.3-94.7)   | 80.6  | 93.1 (50.0-100.0)              | 13.7  | 49.6 (24.0-81.4)  | 20.4  |
| КМЗ-8   | 51.8 (13.3-93.3)  | 47.1  | 69.9 (0.0-100.0)               | 35.7  | 45.1 (12.9-71.8)  | 31.0  |
| КМЗ-1   | 24.3 (5.3-85.3)   | 107.1 | 93.4 (7.1-100.0)               | 19.5  | 47.6 (1.0-68.0)   | 24.1  |

Примечание. Учётная единица – сосуд для проращивания. Приведены средние значения и диапазоны изменчивости значений по 15 растениям из каждой ценопопуляции; CV – коэффициент вариации.

Сходные эффекты были получены нами в результате анализа качества семенного потомства подорожника из зоны ВУРСа и Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК) (Позолотина и др., 2016). Обе выборки из зоны НТМК характеризовались наименьшей скоростью формирования листьев и корней, что проявилось и в следующем поколении, выращенном в условиях выровненного агрофона (Позолотина и др., 2016, Шималина, 2016). У одуванчика лекарственного семенное потомство, сформировавшееся в зонах ВУРСа и НТМК, было ослабленным по сравнению с контролем. Следующее поколение, выращенное в условиях выровненного агрофона, показало высокую жизнеспособность, однако уровень устойчивости к провокационному действию тяжелых металлов и облучения у потомства из зоны ВУРСа был снижен (Pozolotina et al., 2012).

Исследование, проведенное на трех поколениях *P. major*, показало, что условия произрастания вызывали изменения в фенотипе растений

F1-, F2- и F3- поколений с разной интенсивностью (Miao et al., 1991). На близкородственном *P. lanceolata* (Latzel et al., 2014) показано, что фенотипы растений в значительной степени определяются условиями окружающей среды, в которых произрастали их родители.

Таблица 2. Показатели жизнеспособности семенного потомства подорожника большого F3-поколения из разных зон.

| Участок | Выживаемость, %      |      | Листообразование,<br>% к выжившим |      | Длина корней, мм     |      |
|---------|----------------------|------|-----------------------------------|------|----------------------|------|
|         | Среднее<br>(min-max) | CV   | Среднее<br>(min-max)              | CV   | Среднее<br>(min-max) | CV   |
| ВУРС-10 | 55.5 (16.0-92.0)     | 35.8 | 79.2 (48.6-100.0)                 | 16.6 | 61.4 (48.4-79.5)     | 13.8 |
| ВУРС-5  | 38.7 (8.0-80.0)      | 64.4 | 68.1 (0-100.0)                    | 42.6 | 64.8 (48.3-82.1)     | 14.9 |
| Фон-1   | 47.6 (12.5-84.0)     | 45.5 | 92.5 (70.0-100.0)                 | 12.8 | 56.4 (44.4-69.1)     | 13.4 |
| Фон-2   | 60.1 (16.0-96.0)     | 38.7 | 79.3 (0-100.0)                    | 41.4 | 61.5 (43.6-74.9)     | 14.1 |
| КМЗ-10  | 46.4 (12.0-88.0)     | 55.6 | 65.2 (14.3-100.0)                 | 41.9 | 52.3 (31.8-70.9)     | 22.4 |
| КМЗ-8   | 57.7 (28.0-84.0)     | 28.8 | 87.0 (68.4-100.0)                 | 10.4 | 50.9 (42.9-68.0)     | 14.9 |
| КМЗ-1   | 38.6 (8.0-88.0)      | 62.8 | 92.5 (60-100.0)                   | 12.3 | 52.2 (39.8-59.2)     | 11.5 |

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ качества семенного потомства трех поколений подорожника из зон радиоактивного и химического загрязнения показал, что после снятия техногенного стресса трансгенерационные эффекты проявились слабо. В F2- и F3-поколениях произошло уменьшение изменчивости показателей жизнеспособности семенного потомства по сравнению с F1, кроме того, сохранилась тенденция к снижению длины корней у потомков с наиболее загрязненных участков зоны КМЗ.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН. Автор выражает благодарность своему научному руководителю д.б.н. В.Н. Позолотинной и к.б.н. Е.В. Антоновой за помощь в работе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Безель В.С., Позолотина В.Н., Бельский Е.А., Жуйкова Т.В. Изменчивость популяционных параметров: адаптация к токсическим факторам среды // Экология. 2001. № 6. С. 447–453.

Воробейчик Е.Л., Козлов М.В. Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: методология исследова-

дований, экспериментальные схемы, распространенные ошибки // Экология. 2012. № 2. С. 83–91.

Евсеева Т.И., Гераськин С.А., Майстренко Т.А., Белых Е.С. Проблемы количественной оценки биологических эффектов совместного действия факторов радиационной и химической природы // Радиационная биология. Радиоэкология, 2008. Т. 48. №. 2. С. 203–211.

Онтогенетический атлас лекарственных растений. Йошкар-Ола: Марийский госуниверситет, 1997. 240 с.

Позолотина В.Н., Антонова Е.В., Шималина Н.С. Адаптация *Plantago major* L. к длительному радиационному и химическому воздействию // Экология. 2016. №1. С. 3–13.

Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с.

Хромосомные числа цветковых растений: справочник. Л.: Наука. 1969. 926 с.

Шималина Н.С. Особенности F-1 поколения подорожника большого из зон радиоактивного и химического загрязнения // Экология: факты, гипотезы, модели: материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург: Гощицкий, 2016. С. 146–155.

Шималина Н.С. Изменчивость микросателлитных локусов у подорожника большого из зон радиоактивного и химического загрязнения // Экология: факты, гипотезы, модели: материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург: «Реэкшен», 2018. С. 164–170

Шималина Н.С., Орехова Н.А., Позолотина В.Н. Особенности про- и антиоксидантных систем *Plantago major*, длительное время произрастающего в зоне радиоактивного загрязнения // Экология. 2018. № 5. С. 333–341.

Шималина Н.С., Позолотина В.Н., Орехова Н.А., Антонова Е.В. Оценка биологических эффектов у семенного потомства *Plantago major* L. в зоне воздействия медеплавильного производства // Экология. 2017. №6. С. 420–430.

Bruce T.J.A., Matthes M.C., Napier J.A., Pickett J.A. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms // Plant Science. 2007. V. 173. P. 603–608.

Caplin N., Willey N. Ionising radiation, higher plants & radio-protection: from acute high doses to chronic low doses // Frontiers in plant science. 2018. V. 9. 847.

De Micco V., Arena C., Pignalosa D. et al. Effects of sparsely and densely ionizing radiation on plants // Radiation and Environmental Biophysics. 2011. V. 50. № 1. P. 1–19

Esnault M.A., Legue F., Chenal C. Ionizing radiation: Advances in plant



response // Environmental and Experimental Botany. 2010. V. 68. №. 3 P. 231–237.

*Karimullina E., Mikhailovskaya L., Pozolotina V., Antonova E.* Radionuclide uptake and dose assessment of 14 herbaceous species from the East-Ural Radioactive Trace area using the ERICA Tool // Environmental Science and Pollution Research. 2018. P. 1–13.

*Latzel V., Janeček S., Doležal J., Klimešová J., Bossdorf O.* Adaptive transgenerational plasticity in the perennial *Plantago lanceolata* // Oikos. 2014. V. 123. №. 1. P. 41–46.

*Mousseau T.A., Fox C.W.* (eds.) Maternal effects as adaptations. New York: Oxford University Press, 1998. 400 pp.

*Miao S.L., Bazzaz F.A., Primack R.B.* Persistence of maternal nutrient effects in *Plantago major*: the third generation // Ecology. 1991. V. 72. № 5. P. 1634–1642.

*Pozolotina V.N., Antonova E.V., Bezel V.S.* Comparison of remote consequences in *Taraxacum officinale* seed progeny collected in radioactively or chemically contaminated areas // Ecotoxicology. 2012. V. 21. № 7. P. 1979–1988.

*Zvereva E.L., Roitto M., Kozlov M.V.* Growth and reproduction of vascular plants in polluted environments: a synthesis of existing knowledge // Environmental Reviews. 2010. V. 18. P. 355–367.