

УДК 582.933:[581.55+581.151]:504.5:[539.16+546.3]

Шималина Н. С., Антонова Е. В., Позолотина В. Н.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ПОДОРОЖНИКА БОЛЬШОГО ИЗ ЗОН РАДИОАКТИВНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В ходе лабораторного эксперимента было изучено качество семенного потомства подорожника большого из популяций, длительное время произрастающих в условиях радиоактивного (Восточно-Уральский радиоактивный след – ВУРС) и химического (Карабашский медеплавильный завод – КМЗ) загрязнения.

Ключевые слова: ценопопуляции, *Plantago major* L., семенное потомство, жизнеспособность, тяжелые металлы, ионизирующие излучения.

Shimalina N. S., Antonova E. V., Pozolotina V. N.

Institute of Plant and Animal Ecology UB RAS, Ekaterinburg

INDIVIDUAL VARIABILITY OF VIABILITY OF PLANTAIN SEED PROGENY FROM THE RADIOACTIVE AND CHEMICAL CONTAMINATION ZONES

The quality of the seed progeny of plantain from populations long-term growing under conditions of radioactive (East Ural radioactive trace) and chemical (Karabash copper plant) contamination was estimated.

Keywords: cenopopulations, *Plantago major* L., seed progeny, viability, heavy metals, ionizing radiation.

Пути адаптации живых организмов к разным типам техногенных воздействий разнообразны. В них присутствуют как универсальные, так и специфические компоненты, обусловленные природой действующего фактора и биологическими особенностями видов. Можно предполагать, что каждая популяция, испытывающая действие тяжелых металлов или ионизирующей радиации, пройдя многие этапы отбора, приобретает специфические черты (Безель и др., 2001; Чиркова, 2002; Pozolotina et al., 2012).

Цель настоящей работы – сравнительная оценка жизнеспособности семенного потомства подорожника большого из популяций, длительное время произрастающих в зонах радионуклидного и химического загрязнения.

Объект исследования – подорожник большой (*Plantago major* L.) – многолетнее травянистое поликарпическое растение из семейства Plantaginaceae Juss. Размножается преимущественно семенами (Онтогенетический..., 1997). Вид диплоидный, $2n = 12$ (Хромосомные...,

1969). Выбор данного вида обусловлен его повсеместной встречаемостью, высокой семенной продуктивностью, существованием в широком диапазоне экологических условий (Pozolotina et al., 2016).

Семена подорожника большого собирали в головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) и в зоне воздействия Карабашского медеплавильного завода (КМЗ). На территории ВУРСа были выбраны три площадки: на юго-западном берегу оз. Урускуль (15–18 км от эпицентра взрыва – ВУРС-1), юго-западном берегу оз. Бердениш (9–12 км – ВУРС-2), и наиболее загрязненный участок рядом с «лежневой» дорогой (6–8 км от эпицентра – ВУРС-3). В зоне химического загрязнения были выбраны четыре площадки на разном удалении от КМЗ: поворот на оз. Агардяш (10 км от предприятия – КМЗ-1); окрестности пос. Старомедный (4.9 км от комбината – КМЗ-2); поворот на р. Аткус (7.5 км от комбината – КМЗ-3); участок в пределах г. Карабаша, выселенная улица «Освобождения Урала» (0.5–1.5 км от комбината – КМЗ-4). Фоновые площадки находились вне зон техногенного загрязнения: поворот на Сугомакскую пещеру, поворот на лагерь Гагарина (Фон-1 и Фон-2 соответственно).

В ходе лабораторного эксперимента семена с 10 индивидуальных растений из каждой популяции в трех повторностях проращивали методом рулонной культуры в течение 21 суток при +24 °С согласно методике (Позолотина и др., 2008). Жизнеспособность семенного потомства оценивали по комплексу критериев: всхожесть семян, выживаемость проростков, доля проростков с настоящими листьями и длина корня. Определяли диапазоны индивидуальной изменчивости показателей жизнеспособности из фоновых популяций и из зон техногенного воздействия. Для проверки статистических гипотез использовали критерий множественных сравнений Шеффе и непараметрический критерий Краскела-Уоллиса (H) в программе STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc., 2007).

Удельные активности радионуклидов в почвах и обусловленные ими дозовые нагрузки материнских растений на участках ВУРСа представлены в табл. 1. Расчет проведен в программе Erica Tool (Brown et al., 2008; Karimullina et al., 2013). При этом использованы эмпирические данные о содержании радионуклидов в почвах и растениях, соотношения свежей и сухой массы растений и геометрии подземных и надземных органов растений. Согласно табл. 1, дозовые нагрузки в зоне ВУРСа превышают фоновые уровни в 178–1460 раз. Данные дозы облучения классифицируются для растительных объектов как малые (Garnier-Laplace et al., 2004).

Таблица 1

Удельные активности ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвах ВУРСа
и обусловленные ими дозовые нагрузки материнских растений
подорожника большого

| Участок | Удельная активность, Бк/кг | | | Коэффициенты перехода | | | Мощность поглощенной дозы, мкГр/ч |
|---------|----------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| | ^{90}Sr | ^{137}Cs | $^{239,240}\text{Pu}$ | ^{90}Sr | ^{137}Cs | $^{239,240}\text{Pu}$ | |
| Фоновые | 6.92±2.60 | 9.89±4.4 6 | н.о. | 0.66 ± 0.76 | 0.05 4± 0.05 4 | 0.0014± 0.0012 | 0.107 |
| ВУРС-1 | 24000± 15400 | 1010± 871 | 103±53.9 | | | | 19.1 |
| ВУРС-2 | 90900± 93500 | 4400± 5310 | 235±153 | | | | 72.1 |
| ВУРС-3 | 195000 ± 85000 | 9860± 5570 | 514±397 | | | | 156.1 |

Примечание. Представлены среднеарифметические значения ± ошибка среднего; н.о. – не определяли; $n = 11-25$. Учитывался естественный радиационный фон, равный для Уральского региона 0.1 мкГр/ч.

Содержание тяжелых металлов в почвах вблизи КМЗ и суммарная токсическая нагрузка на участках показаны в табл. 2. Индекс токсической нагрузки рассчитывали по формуле:

$$K_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{C_{ji}}{C_{jf}}$$

где K_i – индекс загрязненности i -й точки; C_{ji} – концентрация j -го элемента в i -й точке; C_{jf} – концентрация j -го элемента в фоновой зоне; n – количество анализируемых элементов.

Согласно приведенным в табл. 2 данным, уровни токсической нагрузки в зоне влияния КМЗ превышают фоновые значения в 5–42 раза.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почвах и индексы токсической нагрузки в зоне влияния КМЗ и на фоновых участках

| Зона воздействия | Содержание металлов в почвах, мкг/г | | | | K_i |
|------------------------|-------------------------------------|-----------|-------------|--------------|-------|
| | Cu | Cd | Pb | Zn | |
| Среднефоновые значения | 40.0±5.7 | 0.56±0.15 | 27.8±10.7 | 43.1±7.9 | 1.0 |
| КМЗ-1 | 289.4±19.4 | 2.2±0.23 | 108.0±12.2 | 260.1±40.9 | 5.2 |
| КМЗ-2 | 914.7±94.0 | 5.2±0.32 | 214.4±37.8 | 525.7±51.1 | 13.0 |
| КМЗ-3 | 695.0±1.1 | 4.9±1.1 | 239.6±109.8 | 879.1±480.7 | 13.8 |
| КМЗ-4 | 2569±506 | 11.4±2.4 | 586.6±37.4 | 2655.4±169.5 | 41.8 |

Примечание. Представлены среднеарифметические значения ± ошибка среднего; $n = 8$.

Во всех изученных выборках всхожесть семян и выживаемость проростков были идентичны, либо значимо не различались (рис. 1), поэтому да-

лее подробно рассмотрен показатель «выживаемость проростков». Непараметрический однофакторный анализ по выживаемости проростков показал значимость фактора «участок» ($H_{(8;270)} = 65.9; p < 0.0001$). Это связано с тем, что значения показателя в выборке Фон-1 были очень низкими, значимые отличия обнаружены со всеми выборками, за исключением ВУРС-2 (критерий множественных сравнений Шеффе, $p < 0.05$). Наибольшая выживаемость отмечена в выборках из зоны химического загрязнения. Выживаемость в выборке ВУРС-2 была значимо ниже, чем в выборках Фон-2, КМЗ-1 и КМЗ-3 (критерий Шеффе, $p < 0.05$).

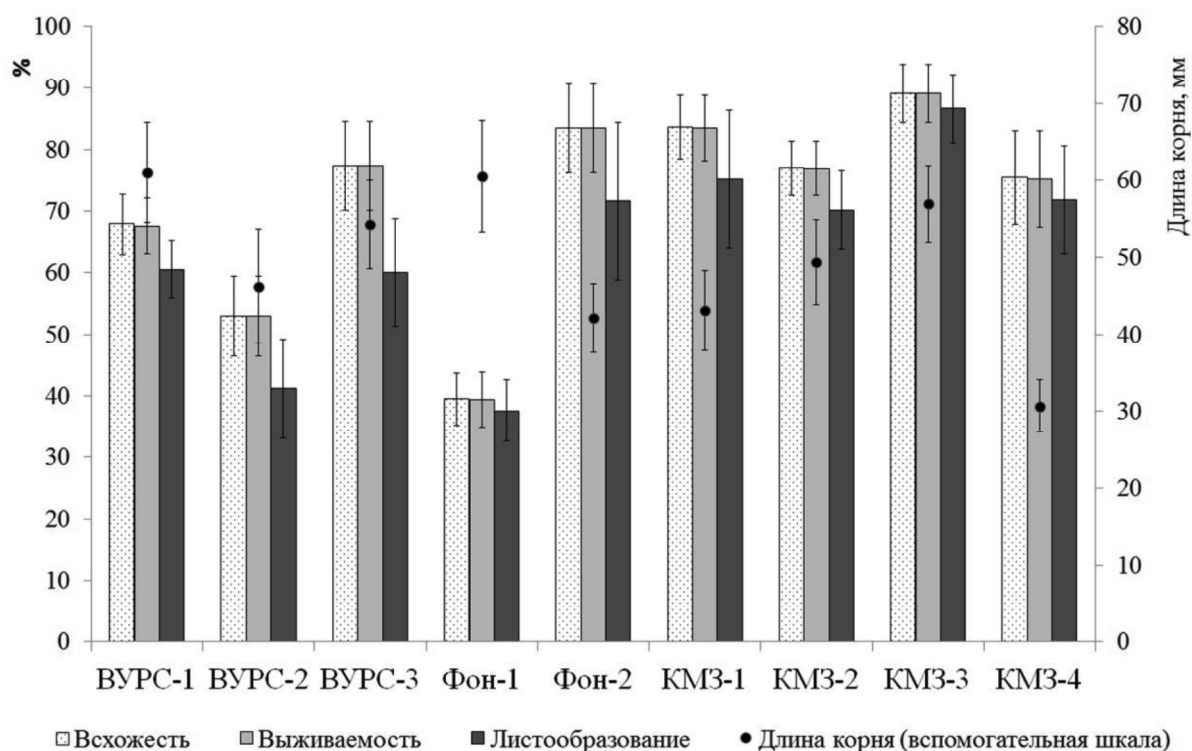


Рис. 1. Основные показатели жизнеспособности (среднеарифметические значения \pm ошибка среднего) семенного потомства подорожника большого из импактных и фоновых популяций.

Наибольшая внутрипопуляционная изменчивость показателя отмечена в выборках ВУРС-1, ВУРС-2 и Фон-1, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты вариации (рис. 2). Влияние фактора «генотип», характеризующего внутрипопуляционную изменчивость, оказалось в целом значимым ($H_{(89;270)} = 231.7; p < 0.0001$).

Число проростков с настоящими листьями (см. рис. 1) в выборках ВУРС-2 и Фон-1 было значимо ниже, чем в выборках из зоны химического загрязнения и Фон-2 (критерий Шеффе, $p < 0.05$). При этом и фактор «участок» ($H_{(8;270)} = 65.4; p < 0.0001$), и фактор «генотип» ($H_{(89;270)} = 220.4; p < 0.0001$) были значимыми.

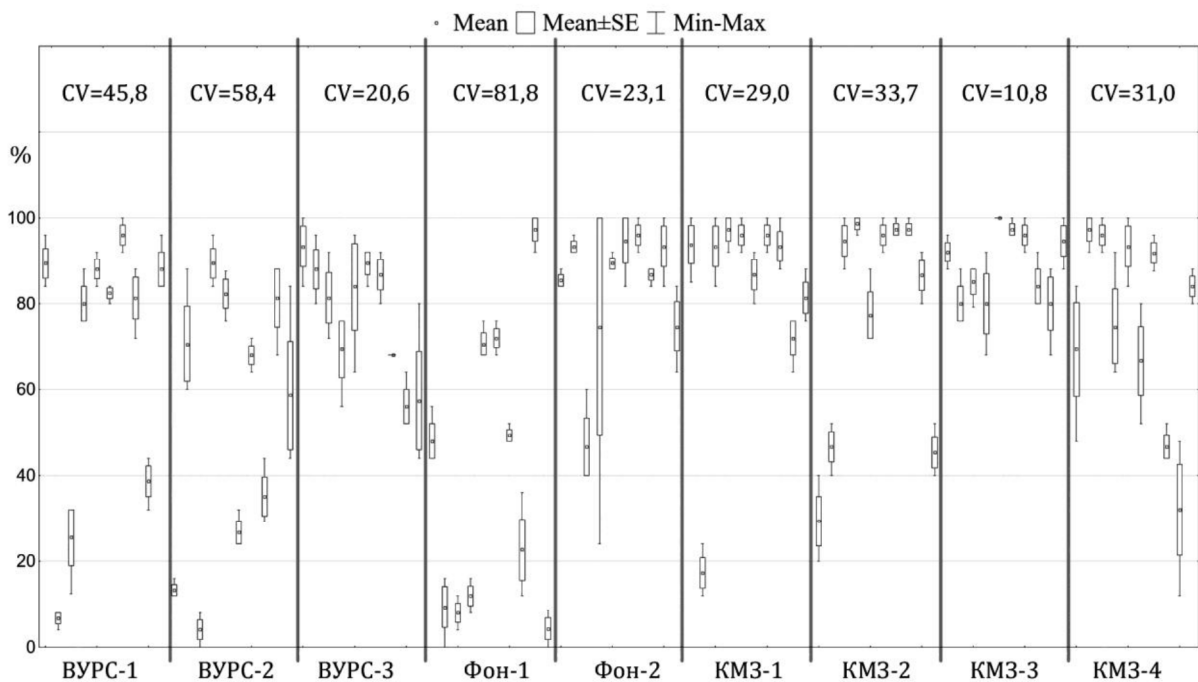


Рис. 2. Внутрипопуляционная изменчивость выживаемости проростков подорожника большого из разных зон.

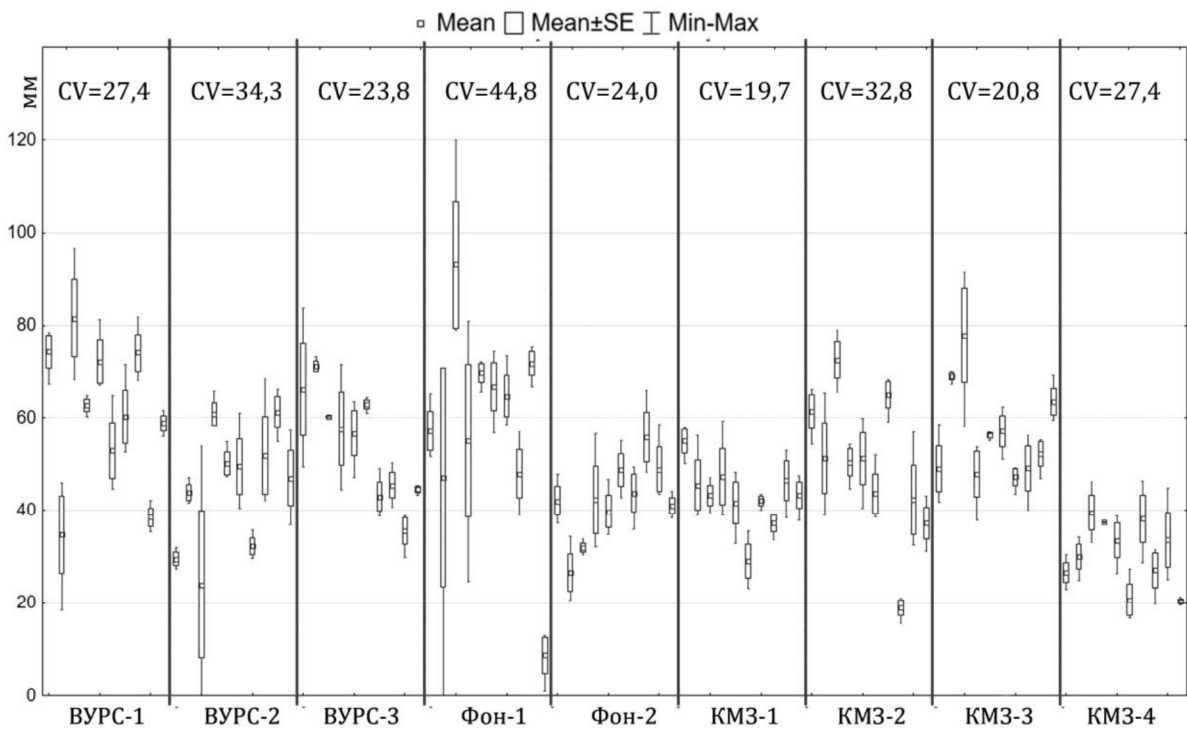


Рис. 3. Внутрипопуляционная изменчивость длины корней проростков подорожника большого из разных зон.

По показателю «длина корня» вариабельность внутри зон была высока, превышая различия между зонами (рис. 3). Однако стоит отметить, что самые низкие значения показателя отмечены в выборке КМЗ-4 (наиболее загрязненный тяжелыми металлами участок), значимые различия выявлены с

выборками ВУРС-1, ВУРС-3, Фон-1, КМЗ-2, КМЗ-3 (критерий Шеффе, $p < 0.05$). Влияние факторов «участок» и «генотип» оказалось в целом значимым ($H_{(8;270)} = 89.0$ и $H_{(89;270)} = 216.7$; $p < 0.0001$ соответственно).

Наибольшая внутривидовая изменчивость всех показателей жизнеспособности при низких средних значениях обнаружена в фоновой выборке, что указывает на влияние других факторов (помимо техногенного загрязнения), обуславливающих ухудшение качества семян.

Таким образом, определенной связи жизнеспособности семенного потомства с уровнем загрязнения почв радионуклидами или тяжелыми металлами не обнаружено.

Авторы благодарят к.б.н. Л. Н. Михайловскую (ИЭРиЖ УрО РАН) за данные по содержанию радионуклидов в почве и растениях. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-04-01023).

ПРИМЕЧАНИЯ

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.

Онтогенетический атлас лекарственных растений / под ред. Л. А. Жуковой. Йошкар-Ола: Марийск. гос. ун-т, 1997. Вып. 1. С. 121–132.

Позолотина В. Н., Молчанова И. В., Караваева Е. Н. и др. Современное состояние наземных экосистем зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты. Екатеринбург: Гошицкий, 2008. 204 с.

Хромосомные числа цветковых растений: Справочник. Л.: Наука, 1969. 926 с.

Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. 244 с.

Brown J. E., Alfonso B., Avila R., Beresford N. A. et al. The ERICA Tool // Journal of Environmental Radioactivity. 2008. Vol. 99. № 9. P. 1371–1383.

Garnier-Laplace J., Gilek M., Sundell-Bergman S., Larsson C.-M. Assessing ecological effects of radionuclides: data gaps and extrapolation issues // Journal of Radiological Protection. 2004. Vol. 24. № 4A. P. A139–A155.

Karimullina E., Antonova E., Pozolotina V. Assessing radiation exposure of herbaceous plant species at the East-Ural Radioactive Trace // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 124. P. 113–120.

Pozolotina V., Antonova E., Shimalina N. Adaptation of greater plantain, *Plantago major* L., to long-term radiation and chemical exposure // Russian Journal of Ecology. 2016. Vol. 47. № 1. P. 1–10.

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. Vol. 21. № 7. P. 1979–1988.