

2. Забураева Х.Ш. Социально-экономические условия жизни населения горных регионов Кавказа // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. IV. – Грозный, 2015. – С. 227–232.
3. Забураева Х.Ш. Предпосылки устойчивого землепользования в Чеченской Республике // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 10. – С. 75–79.
4. Забураева Х.Ш., Краснов Е.В. Эколого-географическое обоснование сбалансированного землепользования в регионах Северо-Восточного Кавказа // География и геоэкология: проблемы науки, практики и образования: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. – М.: ИИУ МГОУ, 2016. – С. 59–67.
2. Zaburaeva H.Sh. Social'no-jekonomicheskie uslovija zhizni naselenija gornyh regionov Kavkaza // Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geojekologii Severnogo Kavkaza. T. IV. – Groznyj, 2015. – S. 227–232.
3. Zaburaeva H.Sh. Predposylki ustojchivogo zemlepol'zovanija v Chechenskoj Respublike // Vestnik KrasGAU. – 2011. – № 10. – S. 75–79.
4. Zaburaeva H.Sh., Krasnov E.V. Jekologo-geograficheskoe obosnovanie sbalansirovanogo zemlepol'zovanija v regionah Severo-Vostochnogo Kavkaza // Geografija i geojekologija: problemy nauki, praktiki i obrazovanija: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – M.: IIU MGOU, 2016. – S. 59–67.

#### Literatura

1. Zaburaeva H.Sh. Geojekologicheskie problemy zemlepol'zovanija v Chechenskoj



УДК 581.142: 582.662 (571.63)

Е.В. Бурковская

#### ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ ГАЛОФИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ (*CHENOPODIACEAE*)

Е.В. Burkovskaya

#### THE INFLUENCE OF COPPER ON SEEDS GERMINATION OF SOME COASTAL AND SEA HALOPHYTIC PLANTS (*CHENOPODIACEAE*)

**Бурковская Е.В.** – науч. сотр. лаб. Биотехнологии Биолого-почвенного института ДВО РАН, г. Владивосток. E-mail: burkovskaya@ibss.dvo.ru

**Burkovskaya E.V.** – Staff Scientist, Lab. of Biotechnologies, Biology and Soil Institute, FEB RAS, Vladivostok. E-mail: burkovskaya@ibss.dvo.ru

В статье приводятся результаты исследования количества некоторых тяжелых металлов в морской воде литоральной зоны и почве супралиторальной зоны северо-восточной части залива Угловой Японского моря. Показано, что в период с 2010 по 2015 г. произошло значительное снижение содержания свинца и кадмия и увеличение концентрации меди в морской воде. Установлено, что в это же время аналогичный процесс накопления меди происходил и в почве супралиторальной

зоны. Тяжелые металлы, накапливаясь в жизненно важных органах растений, приводят к угнетению процессов роста и развития, а зачастую даже к их гибели. Известно, что избыточная концентрация меди в среде также оказывает токсическое действие на растения. Изучалось влияние высокой концентрации меди на основные характеристики прорастания семян прибрежных галофильных растений *Salicornia perennans* и *Suaeda heteroptera* (*Chenopodiaceae*). Показано видоспецифиче-

ское угнетение прорастания, особенно у семян *Salicornia perennans*. У них не только более существенно снизился процент прорастания, но и его энергия и скорость. В то время как у *Suaeda heteroptera* только несколько уменьшилось количество жизнеспособных семян.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, медь, свинец, кадмий, морские побережья, прорастание семян, галофиты, маревые.

*The results of researches of heavy metals concentration in sea water of littoral area and soil of supralittoral area of the north-eastern part of Uglovoi Gulf of the Japanese sea are given in the study. It was shown that the concentration of plumbum and cadmium significantly decreased and the concentration of cooper increased in sea water in the period from 2010 to 2015. It was established that at the same time there was similar process of cooper accumulation in the soil of a supralittoral zone. The accumulation of heavy metals in vital organs of plants leads to the inhibition of the plant growth and development processes and also to their death. It is known that an excess concentration of cooper has toxic influence on the plants. The influence of high cooper concentration on the main characteristics of seeds germination of coastal halophytic plants *Salicornia perennans* and *Suaeda heteroptera* (*Chenopodiaceae*) was studied. Species of specific inhibition of germination, especially of *Salicornia perennans* seeds were shown. The percentage of germination of the *Salicornia perennans* seeds decreased, moreover its energy and speed decreased too. And *Suaeda heteroptera* had only slightly decreased the number of viable seeds. While in *Suaeda heteroptera* the quantity of viable seeds decreased insignificantly.*

**Keywords:** heavy metals, copper, lead, cadmium, sea coasts, germination of seeds, halophytic plants, mare.

**Введение.** Высокая концентрация населения на морских побережьях Приморского края неизбежно влечет усиление антропогенного пресса в прибрежных районах, частью которого является загрязнение морских вод тяжелыми металлами. Их отличает высокая токсичность для живых организмов даже при содержании в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомagniфикации [1]. Среди

акваторий дальневосточных морей концентрация тяжелых металлов максимальна в заливе Петра Великого, подверженном самому мощному антропогенному воздействию [2]. Проведенный нами ранее анализ воды прилегающей акватории на содержание тяжелых металлов [3] показал, что в 2010 г. содержание наиболее токсичных элементов (свинца и кадмия) превышало океанический фон в 73 и 2 раза соответственно [4]. Это приводило к накоплению листьями прибрежно-морских галофитов тяжелых металлов [3], многие из которых жизненно необходимы растениям, но их избыточная концентрация в среде оказывает токсическое действие [5].

**Цель исследования.** Изучение влияния изменения концентрации меди в почве супралиторальной зоны и морской воде прилегающей акватории на прорастание семян прибрежно-морских галофильных растений семейства *Chenopodiaceae*.

**Задачи исследования:**

- 1) определение содержания тяжелых металлов в морской воде;
- 2) определение содержания тяжелых металлов в почве;
- 3) изучение характеристик прорастания семян прибрежно-морских галофитов.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являлись два характерных вида прибрежно-морских галофильных растений из семейства *Chenopodiaceae*: *Salicornia perennans* Willd. и *Suaeda heteroptera* Kitag., являющихся соленакопителями [6, 7].

Сбор растительного материала произведен в 2015 г. на супралиторальных заболоченных участках талассосолей (где морская вода является основным источником поступления в растения микроэлементов) северо-восточной части залива Угловой (Амурский залив Японского моря) близ с. Прохладное.

Семена растений в обоих случаях собирались в сентябре и перед проращиванием подвергались двухмесячной холодной стратификации при температуре +4 С°. Подсчет проросших семян вели ежедневно и рассчитывали в процентах от числа заложенных на проращивание. Полученные цифровые данные представлены как средние арифметические и их стандартные ошибки, полученные в трех повторностях по 50 семян в каждой.

Отбор водных проб для масс-спектрального анализа проводился в сентябре 2015 г. в литоральной зоне в трех точках, в трех повторностях для каждой. Определение содержания тяжелых металлов в морской воде произведено на атомно-эмиссионном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima 2100 DV («Perkin Elmer», США) в лицензированной центральной лаборатории ОАО «Приморгеология». Измерения проводились с использованием методики ЦВ 3.18.050-2005 ФР.1.31.2005.01714 (методика выполнения измерений элементарного состава питьевых, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно-связанной плазме).

Одновременно с водными в супралиторальной зоне отбирались почвенные пробы. Определение содержания тяжелых металлов в почве произведено методом энергодисперсионной рентгенфлуоресцентной спектроскопии на анализаторе EDX 800HS-P (Shimadzu, Япония), оснащенном родиевым катодом, в формате коли-

чественного анализа в вакуумной среде. Полученные данные соотнесены с региональными кларками [8] из-за отсутствия принятых в России предельно допустимых концентраций (ПДК) для валовых форм для Cu.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Среди основных загрязняющих элементов в морской воде обнаружены тяжелые металлы, в том числе Cu, Cd, Pb, первый из которых, согласно ГОСТ 17.41.02-83, относится к классу умеренно опасных, остальные – высокоопасных веществ [9].

Согласно нашим данным, соотношение содержания тяжелых металлов в морской воде за период с 2010 по 2015 г. существенно изменилось (табл. 1). В 2010 г. содержание свинца и кадмия значительно превышало океанический фон, что приводило к накоплению этих элементов вегетативными органами исследованных видов растений, однако не препятствовало завершению онтогенеза и формированию жизнеспособных семян [3].

Таблица 1

**Содержание исследуемых элементов (Cu, Cd, Pb) в растворенной форме в морской воде**

Элемент	Содержание в чистой океанической воде *, мг/л	Содержание в морской воде залива Угловой в 2010г.**, мг/л	Содержание в морской воде залива Угловой в 2015г., мг/л
Cu	0,003	0.0028	0,0048 ± 0.0006
Cd	0,0001	0.0002	0,0001
Pb	0,00003	0.0022	0,0001

\* – [4]; \*\* – [3].

Измерения, проведенные в 2015 г., показали значительное снижение содержания кадмия и свинца. Количество меди в 2010 г. соответствовало фоновой концентрации в океанических водах, и накопление меди в листьях исследованных видов находилось в пределах 0,019–0,023 мг/г, что соответствует норме для незагрязненных районов Дальнего Востока [10]. В 2015 г. содержание меди в воде прилегающей акватории увеличилось в полтора раза.

Аналогичный процесс накопления меди в изучаемый период времени происходил и в почве супралиторальной зоны. Где значение данного показателя возросло в полтора раза: с 55,0±3,8 до 84,3±5,4 мг/кг, достигая величины, в

четыре раза превосходящей региональное кларковое значение (20 мг/кг) [8]. Причина вышеупомянутых процессов требует дополнительного изучения.

Несмотря на то, что медь входит в состав медьсодержащих белков и ферментов, известно, что двукратное превышение ее содержания оказывает токсическое действие на растения, которое выражается в ингибировании поглощения ионов некоторых других металлов, уменьшении оводненности тканей и содержания хлорофилла, приводящих к снижению накопления фитомассы [11]. Так, при изучении влияния повышенных концентраций меди на физиологические параметры *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies*

(L.) Karst. (Pinaceae) обнаружено усыхание надземной части сеянцев обоих видов и уменьшение содержания физиологически необходимых для процесса фотосинтеза элементов железа и марганца, а также установлена видоспецифическая ответная реакция пигментного аппарата [12]. Другими исследователями обнаружено значительное торможение роста и развития растений факультативного галофита *Mesembryanthemum crystallinum* L. при повышенных концентрациях солей меди в среде, что не препятствовало завершению онтогенеза и формированию жизнеспособных семян [13].

В нашем случае в 2010 г., при изучении прорастания семян *Salicornia perennans* и *Suaeda heteroptera* на фоне повышенных концентраций свинца и кадмия, этот процесс происходил быстро и активно (табл. 2). Вероятно, их семенная кожура выполняла барьерную функцию; есть сведения, что данные элементы локализируются в клеточных оболочках семенной кожуры и при прорастании на растворах солей этих металлов не проникают в зародыш семян [5]. С накоплением меди ситуация обстоит иначе, ведь растения испытывают постоянную физиологическую потребность в этом элементе.

Таблица 2

**Показатели прорастания семян галофитов, обитающих на супралиторали берега зал. Угловой**

Вид	T <sub>0</sub> , сут	T <sub>50</sub> , сут	Всхожесть, %
<i>Salicornia perennans</i>	1/3	3/7	51 ± 2/ 20±1
<i>Suaeda heteroptera</i>	1/1	2/2	92 ± 5/ 57±4

*Примечание.* Число перед чертой соответствует значению показателя в 2010 г.; после черты – 2015 г.; T<sub>0</sub> – число суток до начала прорастания; T<sub>50</sub> – число суток, в течение которых всхожесть достигла 50 %, при расчете T<sub>0</sub> и T<sub>50</sub> учтен только период после стратификации.

Изучение влияния повышенной концентрации меди на прорастание семян прибрежно-морских галофитов показало, что наиболее подвержены влиянию увеличения количества меди семена *Salicornia perennans*. У них не только более существенно снизился процент прорастания, но также и его энергия и скорость. В то время как у *Suaeda heteroptera* только несколько уменьшилось количество жизнеспособных семян и гораздо менее значительно, чем у первого. Это вполне объясняется тем, что даже при значительно большем содержании свинца в среде растения *Salicornia perennans* аккумулировали медь и свинец в равных количествах, а для *Suaeda heteroptera* характерно приоритетное накопление свинца [3].

**Заключение.** За период с 2010 по 2015 г. в морской воде северо-восточной части залива Угловой произошло изменение содержания тяжелых металлов. На фоне существенного снижения концентрации свинца и кадмия произошло двукратное увеличение концентрации меди. Одновременно с этим в почвах супралиторальной зоны также происходил процесс накопления меди, токсическое действие которой на растения выразилось в видоспецифическом сниже-

нии основных показателей, характеризующих прорастание семян исследованных прибрежно-морских галофитов *Salicornia perennans* и *Suaeda heteroptera*.

**Благодарности.** Автор выражает свою благодарность канд. биол. наук, ст. науч. сотр. сектора биогеохимии Биолого-почвенного института ДВО РАН Максиму Леонидовичу Бурдуковскому за определение валового содержания меди в почвенных пробах.

### Литература

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
2. Христофорова Н.К., Кожевникова С.И. Изменение фоновых уровней тяжелых металлов в морской среде // Докл. АН. – 2000. – Т. 374. – № 1. – С. 136–138.
3. Воронкова Н.М., Бурковская Е.В., Тимофеева Я.О. Аккумуляция тяжелых металлов различными видами галофитов супралиторали морских берегов на юге Приморского края // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. – 2012. – Т. 5. – № 4. – С. 73–78.

4. *Виноградов А.П.* Введение в геохимию океана. – М.: Наука, 1967. – 215 с.
5. *Холодова В.П., Волков К.С., Кузнецов В.В.* Адаптация к высоким концентрациям солей меди и цинка растений хрустальной травки и возможность их использования в целях фиторемедиации // Физиология растений. – 2005. – Т. 52. – № 6. – С. 848–858.
6. *Воронкова Н.М., Бурковская Е.В., Безделева Т.А.* [и др.]. Морфологические и биологические особенности растений в связи с адаптацией к условиям морских побережий // Экология. – 2008. – № 1. – С. 3–9.
7. *Воронкова Н.М., Бурковская Е.В., Тимофеева Я.О.* [и др.]. Накопление макроэлементов морской воды листьями галофитов супралиторали Японского моря // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 11. – С. 144–148.
8. *Голов В.И.* Содержание микроэлементов в почвах Приморья // Характеристика агроземов Приморья. – Уссурийск, 2002. – С. 145–155.
9. ГОСТ 17.4.2.02-83. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
10. *Бабурин А.А.* Элементарный химический состав растений Дальнего Востока // Экосистемы юга Дальнего Востока. – Владивосток, 1981. – С. 36–40.
11. *Иванова Е.М.* Токсическое действие меди и механизмы ее детоксикации растениями рапса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2011. – 26 с.
12. *Дроздова И.В., Алексеева-Попова Н.В., Беляева А.И.* [и др.]. Влияние меди, никеля и кадмия на некоторые физиологические параметры семян *Pinus sylvestris* и *Picea abies* (Pinaceae) // Растительные ресурсы. – 2014. – Т. 50. – Вып. 4. – С. 554–566.
13. *Obrucheва N.V., Bystrova E.I., Ivanov V.B.* [et al.]. Root growth responses to lead in young maize seedlings // Plant Soil. – 1998. – V. 200. – P. 55–61.
3. *Voronkova N.M., Burkovskaja E.V., Timofeeva Ja.O.* Akkumuljacija tjazhelyh metallov razlichnymi vidami galofitov supralitorali morskikh beregov na juge Primorskogo kraja // Izv. Irkut. gos. un-ta. Ser. Biologija. Jekologija. – 2012. – Т. 5. – № 4. – С. 73–78.
4. *Vinogradov A.P.* Vvedenie v geohimiju okeana. – М.: Nauka, 1967. – 215 s.
5. *Holodova V.P., Volkov K.S., Kuznecov V.V.* Adaptacija k vysokim koncentracijam solej medi i cinka rastenij hrustal'noj travki i vozmozhnost' ih ispol'zovanija v celjah fitoremediacii // Fiziologija rastenij. – 2005. – Т. 52. – № 6. – С. 848–858.
6. *Voronkova N.M., Burkovskaja E.V., Bezdeleva T.A.* [i dr.]. Morfologicheskie i biologicheskie osobennosti rastenij v svjazi s adaptaciej k uslovijam morskikh poberezhij // Jekologija. – 2008. – № 1. – С. 3–9.
7. *Voronkova N.M., Burkovskaja E.V., Timofeeva Ja.O.* [i dr.]. Nakoplenie makrojelementov morskoy vody list'jami galofitov supralitorali Japonskogo morja // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 11. – С. 144–148.
8. *Golov V.I.* Soderzhanie mikrojelementov v pochvah Primor'ja // Harakteristika agrozemov Primor'ja. – Ussurijsk, 2002. – С. 145–155.
9. GOST 17.4.2.02-83. Pochvy. Klassifikacija himicheskikh veshhestv dlja kontrolja zagrjaznenija. – М.: Izd-vo standartov, 1984. – 4 s.
10. *Baburin A.A.* Jelementarnyj himicheskij sostav rastenij Dal'nego Vostoka // Jekosistemy juga Dal'nego Vostoka. – Vladivostok, 1981. – С. 36–40.
11. *Ivanova E.M.* Toksicheskoe dejstvie medi i mehanizmy ee detoksikacii rastenijami rapsa: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – М., 2011. – 26 s.
12. *Drozдова I.V., Alekseeva-Popova N.V., Beljaeva A.I.* [i dr.]. Vlijanie medi, nikelja i kadmija na nekotorye fiziologicheskie parametry sejancev *Pinus sylvestris* i *Picea abies* (Pinaceae) // Rastitel'nye resursy. – 2014. – Т. 50. – Vyp. 4. – С. 554–566.
13. *Obrucheва N.V., Bystrova E.I., Ivanov V.B.* [et al.]. Root growth responses to lead in young maize seedlings // Plant Soil. – 1998. – V. 200. – P. 55–61.

#### Literatura

1. *Kabata-Pendias A., Pendias X.* Mikrojelementy v pochvah i rastenijah. – М.: Mir, 1989. – 439 s.
2. *Hristoforova N.K., Kozhevnikova S.I.* Izmenennje fonovyh urovnej tjazhelyh metallov