

УДК 581.151:582.912.46:621.039 (470.21)

ОЦЕНКА СВОЙСТВ РАСТЕНИЙ ЧЕРНИКИ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ С НЕЗНАЧИТЕЛЬНО ПОВЫШЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ

© 2012 г. А. Н. Кизеев, С. Ф. Ушамова, В. К. Жиров,
*Н. В. Ивкова

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина
Кольского научного центра РАН, г. Апатиты

*Научно-исследовательская лаборатория Северо-Западного научного
центра гигиены и общественного здоровья, г. Кировск

Одним из потенциально опасных объектов атомной энергетики в Мурманской области является Кольская атомная электростанция (КАЭС), которая может служить источником загрязнения радионуклидами окружающих ее лесных массивов. Многолетний опыт экологических исследований, проведенных в районе КАЭС, свидетельствует об отсутствии заметных изменений радиационного фона в районе ее расположения [10, 14]. Однако до настоящего времени биологические эффекты малых доз проникающей радиации не могут считаться полностью изученными. В частности, пока отсутствуют исчерпывающие сведения о механизме их стимулирующего действия на живые объекты, при том, что именно для района КАЭС ранее были получены обнадеживающие данные о повышении устойчивости произрастающих здесь растений к действию различных повреждающих факторов [8, 9]. Дикорастущие ягоды черники и брусника в 50-километровой зоне вокруг КАЭС являются традиционным фактором питания для 200-тысячного населения городов Кандалакша, Полярные Зори, Кировск, Апатиты.

Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) — основной доминант травяно-кустарничкового яруса северотаежных хвойных лесов Кольского полуострова. Поскольку структура парцеллярных кустов представителей этого вида отличается высокой экологической пластичностью, ее морфологические и физиологические характеристики могут использоваться в качестве диагностических признаков ухудшения условий окружающей среды, в том числе при антропогенном воздействии. Исследованиям особенностей черники обыкновенной в экстремальных условиях естественного и антропогенного происхождения посвящено значительное количество работ [3, 12, 13], однако данные об их росте и развитии вблизи потенциальных источников малых доз радиации природного и техногенного характера, в частности атомных электростанций, до сих пор немногочисленны. Изучение морфологических и физиологических показателей растений черники в районе расположения КАЭС представляет особый интерес, поскольку их высокая вариабельность дает возможность более точно определить не только условия реализации стимулирующего влияния проникающей радиации на растительность в условиях данного региона, но и подтвердить безопасность употребления населением черники в пищу.

Методы

Объектом исследований послужили парцеллярные кусты растений черники обыкновенной. Отбор побегов черники проводили в 2009–2010 годах на десяти стационарных мониторинговых площадках в зоне наблюдения КАЭС, ограниченной окружностью 15 км, центр которой совпадает с геометрическим центром между вентиляционными трубами первой и второй очереди КАЭС. Пять пробных площадок (1–5) рас-

В течение 2009–2010 годов на территории радиусом 15 километров вокруг Кольской атомной электростанции проведены исследования геоботанических, морфологических и физиологических характеристик растений черники. В условиях незначительного повышения радиационного фона в растительных тканях черники были выявлены признаки активности трех адаптивных механизмов, направленных на снижение абсорбции радионуклидов путем активизации или ингибирования процессов роста и развития.
Ключевые слова: черника, Кольская атомная электростанция, радионуклиды, химические элементы.

полагались на расстоянии 10 км от станции, и пять контрольных (I–V) — в 15 км от нее (рисунок см. на внутренней стороне задней стороны обложки).

Доминирующим типом лесных сообществ в районе проведения исследований были сосняки кустарничково-лишайниковые и ельники кустарничково-зеленомошные со значительной (до 40–50 %) примесью березы V и Va класса бонитета, произрастающие на подзолистых Al-Fe-гумусовых почвах.

На этих же площадках были отобраны образцы почвенного покрова. Растительные и почвенные пробы отбирали ежемесячно, с июня по сентябрь, в трех повторностях в соответствии с общими требованиями к экологическим исследованиям [20].

Радиометрическую съемку местности (мкР/ч) проводили с помощью поискового радиометра СРП-68-01. Мощность экспозиционной дозы (МЭД, мкР/ч), суммарную удельную α - β -активность (Бк/кг) в пробах определяли радиометрическим методом (сертифицированный радиологический комплекс «Прогресс-АБГ», радиометр УМФ-1500Д). Концентрации (Бк/кг) наиболее радиотоксичных нуклидов (^7Be , ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{137}Cs и др.) в пробах устанавливали гамма-спектрометрическим методом (сертифицированный гамма-спектрометр «Прогресс») [10].

Концентрации химических элементов (Ca, Mn, Ni, Cu, Co и др., мг/кг) в растительных образцах измеряли титриметрическим, спектрофотометрическим и атомно-абсорбционным методами [17].

Для черники определяли геоботанические (проективное покрытие), морфологические (площадь листовой пластинки) и физиологические (содержание хлорофиллов) показатели. Площадь листовой пластинки и проективное покрытие измеряли стандартными методиками [1, 18], содержание хлорофиллов — с помощью метода спектроскопии отражения [11].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью пакета программ Microsoft Excel 2002. Достоверность радиационно-гигиенических, химических и биологических характеристик между пробными и контрольными площадками оценивалась по *t*-критерию Стьюдента при 5 % уровне значимости [7]. При этом обсуждались только достоверные различия.

Результаты

Радиационно-гигиенические характеристики.

В результате проведенных исследований было установлено, что естественный радиационный фон на пробных площадках, расположенных в пределах зоны наблюдения КАЭС, варьирует от 5,5 до 7,2 мкР/ч, а за пределами зоны наблюдения этот показатель на большинстве площадок ниже 7 мкР/ч, что не превышает МЭД для населения на открытой местности (0,2 мкЗв/ч) и соответствует облучению населения от природных источников [16].

В почвенном покрове на исследуемых пробных площадках были обнаружены естественные радионуклиды ^{232}Th и ^{40}K , а также ^{137}Cs техногенного происхождения

(табл. 1), при этом техногенные радионуклиды (^{22}Na , ^{60}Co , ^{106}Ru , ^{133}Ba , ^{140}La) отсутствовали. Содержание ^{137}Cs в почве не превышало установленных нормативов [16].

Таблица 1

Радионуклидный состав почвы на пробных и контрольных площадках, Бк/кг

| Площадка | ^{232}Th | ^{40}K | ^{137}Cs |
|----------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 1,1 | 273 | 22 |
| 2 | 23,9 | 103 | 5 |
| 3 | — | 62 | 58 |
| 4 | 1,8 | 209 | 22 |
| 5 | 2,1 | 246 | 40 |
| I | 3,0 | 122 | 18 |
| II | — | 90 | 37 |
| III | 0,6 | 112 | 32 |
| IV | — | 235 | 11 |
| V | 1,4 | 133 | 16 |

Установлено, что в почвенном покрове содержание ^{232}Th на площадке I было выше, чем на площадке 1, почти в 3 раза, содержание ^{137}Cs на площадке II было выше, чем на площадке 2, в 7,4 раза, а содержание ^{40}K на площадке III было выше, чем на площадке 3, до 2 раз ($p < 0,05$). При этом на площадке 5 по сравнению с площадкой V содержание ^{137}Cs было выше в 2,5 раза, ^{232}Th — в 1,5 раза, а ^{40}K — почти в 2 раза ($p < 0,05$) (см. табл. 1).

Мощность экспозиционной дозы на поверхности сырой и воздушно-сухой массы растительных образцов составляла 0,15 мкЗв/ч, что соответствует малым уровням ионизирующего излучения (область малых доз для живых объектов находится в пределах 0,2–0,5 Зв [16]). Удельная α - и β -активность побегов черники существенно варьировала, что было обусловлено различным накоплением в них природных (^{232}Th , ^{40}K , ^7Be) и техногенных (^{137}Cs) радионуклидов (табл. 2).

Таблица 2

Суммарная удельная α -, β -активность и радионуклидный состав побегов черники на пробных и контрольных площадках, Бк/кг

| Площадка | α -активность | β -активность | ^{232}Th | ^{40}K | ^7Be | ^{137}Cs |
|----------|----------------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| 1 | 44,5 | 270,1 | 74 | 926 | 258 | 103 |
| 2 | 6,9 | 191,2 | 41,6 | 1552 | — | 133 |
| 3 | 17,4 | 177,5 | 56,4 | 1218 | 167 | 59 |
| 4 | 18,3 | 176,8 | 33,1 | 739 | 69 | 61 |
| 5 | 22,5 | 170,8 | 8 | 1097 | 249 | 27 |
| I | 6,81 | 193,4 | 23,3 | 916 | — | 85 |
| II | 9,34 | 181,2 | 15,5 | 609 | 36 | 37 |
| III | 15,6 | 87,9 | 23,7 | 592 | — | 4,2 |
| IV | 9,9 | 138,2 | 28,7 | 1092 | — | 3,4 |
| V | 6,2 | 170,2 | 26,4 | 896 | 191 | 60 |

Основными источниками поступления ^{232}Th в надземные органы черники в районе исследований могут быть почва, грунтовые воды и атмосфера. Природный радионуклид космического происхождения ^7Be поступал с воздушными массами, атмосферными осадками и аэрозолями. В большом количестве в побегах черники содержался естественный радионуклид ^{40}K , который является неотъемлемым элементом биологических объектов [20].

Накопление ^{137}Cs в растительных объектах может быть связано с естественным круговоротом продуктов деления, поступивших в атмосферу и почву от аварийных выбросов КАЭС, от испытаний ядерного оружия, проводившихся ранее на полигонах планеты, и от аварии на Чернобыльской атомной электростанции [15]. Повышенное накопление ^{137}Cs в побегах черники может также объясняться интенсивным закислением центральной части Кольского полуострова выбросами медно-никелевого комбината «Североникель», расположенного в 50 км от КАЭС, вследствие чего увеличивается подвижность этого радионуклида в почве и происходит его миграция в надземные органы растений [8]. Содержание ^{137}Cs в побегах черники не превышало ПДУ для содержания этого радионуклида в продукции лесного хозяйства ($1,6 \times 10^{-8}$ кБк/кг) [2] и не превышало ПДК для содержания ^{137}Cs в лекарственных растениях (до 200 Бк/кг) [16].

В побегах черники от площадки I к площадке 1 повышалась α -активность в 6,5 раза и увеличивалось содержание ^{232}Th до 3 раз; от площадки II к площадке 2 возрастало содержание ^{137}Cs в 3,5 раза, ^{40}K и ^{232}Th — до 2,5 раза; от площадки III к площадке 3 повышалась β -активность в 2 раза и возрастало содержание ^{137}Cs в 14 раз, ^{232}Th и ^{40}K — в 2 раза; от площадки IV к площадке 4 повышалась α -активность до 2 раз и увеличивалось содержание ^{137}Cs в 18 раз; а от площадки 5 к площадке V возрастало содержание ^{232}Th в 3 раза и ^{137}Cs — в 2 раза ($p < 0,05$) (см. табл. 2).

Химические характеристики. Представители рода *Vaccinium* характеризуются высокими концентрациями кальция и марганца в ассимилирующих органах [12]. Поэтому для химического состава побегов черники были характерны высокие концентрации Са и Мп, а также Na (табл. 3).

Накопление побегами черники тяжелых металлов (Ni, Cu, Co, Pb, Fe, Cr и Cd), возможно, было обусловлено поступлением этих элементов из атмосферы на подстилающую поверхность с выбросами комбината «Североникель».

В побегах черники от площадки 1 к площадке I увеличивалось содержание Co до 3 раз, Мп — в 2 раза, Cd и Ni — до 2 раз и Cr — в 1,5 раза ($p < 0,05$). От площадки 2 к площадке II возрастало содержание Pb в 8 раз и Cu — до 2 раз ($p < 0,05$). От площадки II к площадке 2, наоборот, возрастало содержание Cr до 8 раз, Cd — в 2 раза, Мп — до 2 раз, Na, Са и Co — в 1,5 раза ($p < 0,05$). От пло-

Таблица 3

Химический состав побегов черники на пробных и контрольных площадках, мг/кг

| Площадка | Ca | Na | Ni | Cu | Co | Pb | Fe | Mn | Cr | Cd |
|----------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 5910 | 175 | 6,52 | 4,05 | 0,32 | 1,92 | 55,7 | 676 | 0,51 | 0,13 |
| 2 | 8540 | 247 | 23,0 | 2,82 | 0,80 | 0,18 | 49,4 | 1830 | 2,14 | 0,36 |
| 3 | 6370 | 167 | 12,0 | 4,76 | 0,45 | 0,96 | 73,0 | 1200 | 0,10 | 0,16 |
| 4 | 5420 | 149 | 8,06 | 4,10 | 0,46 | 0,80 | 58,5 | 1240 | 0,10 | 0,13 |
| 5 | 6080 | 213 | 8,51 | 4,54 | 0,60 | 2,37 | 45,4 | 1200 | 0,36 | 0,19 |
| I | 7050 | 225 | 11,9 | 4,28 | 0,89 | 2,30 | 62,3 | 1510 | 0,79 | 0,25 |
| II | 5390 | 163 | 18,0 | 5,24 | 0,49 | 1,48 | 51,0 | 955 | 0,27 | 0,16 |
| III | 6000 | 220 | 11,3 | 4,67 | 0,66 | 0,72 | 62,4 | 1450 | 0,25 | 0,16 |
| IV | 6530 | 260 | 9,30 | 3,89 | 0,65 | 1,95 | 113 | 1000 | 0,45 | 0,17 |
| V | 6850 | 256 | 5,65 | 4,16 | 0,13 | 1,04 | 65,1 | 1180 | 0,27 | 0,22 |

щадки 3 к площадке III возрастало содержание Cr в 2,5 раза и Co в 1,5 раза ($p < 0,05$). От площадки 4 к площадке IV возрастало содержание Cr в 4,5 раза, Pb — до 2,5 раза, Na и Fe — до 2 раз, Co — до 1,5 раза ($p < 0,05$). От площадки 5 к площадке V возрастало содержание Fe до 1,5 раза ($p < 0,05$). От площадки V к площадке 5, наоборот, увеличивалось содержание Co в 4,6 раза, Pb — в 2 раза и Ni — до 1,5 раза ($p < 0,05$) (см. табл. 3).

Геоботанические, морфологические и физиологические характеристики. В результате проведенных исследований было установлено, что проективное покрытие растений черники увеличивается на 10 % от площадки 1 к площадке I и от площадки II к площадке 2; на 20 % — от площадки III к площадке 3 и на 30 % — от площадки 5 к площадке V ($p < 0,05$). Площадки 4 и IV по данному показателю не различались ($p > 0,05$) (табл. 4).

Таблица 4

Изменчивость геоботанических, морфологических и физиологических характеристик побегов черники на пробных и контрольных площадках (нормированные величины)

| Площадка | Проективное покрытие | Площадь листовой пластинки | Содержание хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> |
|----------|----------------------|----------------------------|--|
| 1 | 0,50 | 0,34 | 0,31 |
| 2 | 1,00 | 1,00 | 0,29 |
| 3 | 1,00 | 0,55 | 0,93 |
| 4 | 0,75 | 0,54 | 0,95 |
| 5 | 1,00 | 0,45 | 1,00 |
| I | 0,63 | 0,76 | 0,68 |
| II | 0,88 | 0,19 | 0,47 |
| III | 0,75 | 0,32 | 0,80 |
| IV | 0,75 | 0,29 | 0,72 |
| V | 0,63 | 0,31 | 0,86 |

Площадь листовой пластинки увеличивалась от площадки 1 к площадке I в 2 раза; от площадки II к площадке 2 — в 5 раз, от площадок III и IV к площадкам 3 и 4 — до 2 раз и от площадки V к площадке 5 — в 1,5 раза ($p < 0,05$) (см. табл. 4).

Общее содержание хлорофиллов *a* и *b* в ассимиляционных органах черники увеличивалось от площадки I к площадке I в 2 раза и от площадки 2 к площадке II — в 1,5 раза. В остальных случаях возрастание этой характеристики происходило от контрольных к пробным площадкам ($p < 0,05$) (см. табл. 4).

Сравнительный анализ результатов. При анализе связей комплекса ассимиляционных показателей группировок черники с накоплением в растительных тканях радионуклидов и химических элементов были выявлены нарушения линейного характера этих зависимостей.

Судя по накоплению радионуклидов в почве и в побегах черники, увеличение содержания в почве ^{232}Th от площадки I к площадке I, ^{137}Cs от площадки 2 к площадке II и ^{40}K от площадки 3 к площадке III не сопровождалось накоплением данных радионуклидов побегами. В то же время уменьшение содержания в почве ^{137}Cs и ^{232}Th на площадке V относительно площадки 5, наоборот, было сопряжено с накоплением этих радионуклидов побегами черники. Эти обстоятельства могут свидетельствовать о способности черники к избирательной фильтрации или избирательному поглощению радионуклидов различного генезиса.

При этом растения черники способны избирательно накапливать химические элементы. В условиях минимального накопления побегами черники ^{232}Th на площадке I по отношению к площадке I они интенсивно поглощали соединения Co, Mn, Cd, Ni и Cr. При минимальном накоплении ^{137}Cs на площадке II побеги черники заметно накапливали соединения Pb и Cu, тогда как уровень соединений Cr, Cd, Mn, Na, Ca и Co в побегах снижался. Аналогично минимальное накопление побегами ^{40}K на площадке III сопровождалось активным поглощением Cr и Co. При максимальном накоплении ^{137}Cs и ^{232}Th на площадке V побеги черники интенсивно накапливали соединения Fe, тогда как содержание Co, Pb и Ni в них снижалось. Обнаруженные эффекты могут расцениваться как признаки антагонизма между радионуклидами и химическими элементами в растениях черники.

При избирательном поглощении/фильтрации побегами черники радионуклидов и химических элементов на рассматриваемых площадках были отмечены существенные различия между растениями по характеристикам их продуктивности.

Выраженный эффект избирательной фильтрации ^{232}Th и падения удельной α -активности в растениях на площадке I в сравнении с площадкой I, сопровождающийся повышенным содержанием пигментов, увеличенной площадью листьев и проективного покрытия, можно отнести к случаям активной адаптационной стратегии [4, 6]. Возможно, что ее реализации в данном случае способствует активное накопление среди прочих элементов соединений Mn, способного, согласно распространенному мнению [19], стимулировать синтез зеленых пигментов.

Фактически противоположная картина обнаруживается при сравнении площадок 5 и V. Активное поглощение побегами черники ^{137}Cs и ^{232}Th на площадке V по сравнению с площадкой 5 сопровождалось явным уменьшением содержания фотосинтетических пигментов и площади листьев, но увеличением проективного покрытия. Можно предполагать, что в этом случае также реализуется зависимость синтеза хлорофиллов от содержания Mn. В целом обнаруженные различия свидетельствуют об альтернативной (пассивной) стратегии адаптации [4, 6], которая реализуется при повышении содержания в растительных тканях ^{137}Cs и ^{232}Th . Нераспространение пассивных приспособительных реакций на структуры надорганизменных уровней организации растительного покрова свидетельствует о нелинейных принципах взаимоотношений адаптивных реакций различных иерархий, описанных ранее [5]. Пониженное содержание пигментов у растений площадки V по сравнению с площадкой 5 было, возможно, обусловлено усилением окислительной дегградации и/или ингибированием синтеза пигментов в условиях интенсивного накопления побегами черники радионуклидов природного и техногенного происхождения. Эти результаты согласуются с полученными нами ранее данными [8, 9].

Различия между содержанием химических элементов в растительных тканях и другими характеристиками растений, произрастающих на остальных (2, 3, 4—II, III, IV) площадках, соответственно можно интерпретировать в качестве адаптивных реакций, переходных между явно выраженной активной (площадки I—I) и пассивной (площадки 5—V) стадиями. В частности, реакция явно выраженного второго типа, захватывающая не только внутри-, но и надорганизменные структуры, наблюдалась на площадках 3—III при падении β -активности, отсутствии избирательной фильтрации ^{137}Cs и ^{232}Th , но активной фильтрации ^{40}K .

Обсуждение результатов

Характер изменчивости характеристик растений черники на различных уровнях организации от субклеточного до надорганизменного (парцеллярного), в зависимости от колебаний содержания радиоактивных и нерадиоактивных химических элементов в растительном организме и в окружающей среде, дает основания предполагать использование растением по крайней мере трех различных адаптационных механизмов в условиях незначительного повышенного радиационного фона:

1. Активной фильтрации отдельных радионуклидов, которая может осуществляться мембранами эпидермальных клеток корневой системы и других подземных органов, а также на уровне сосудисто-проводящей системы стеблей при высоком уровне энергообмена.

2. Активизации процессов роста и связанных с ним метаболизма и энергообмена, в результате чего возрастает содержание фотосинтетических пигментов

(за счет повышения их содержания в хлоропластах и/или содержания самих хлоропластов, и/или клеток палисадной паренхимы), размер листьев и проективного покрытия. В результате удельная активность в пересчете на вес тканей снижается.

3. Ингибирования роста и соответствующих процессов обмена веществ и энергии, в результате чего ингибируется и поглощение отдельных (в частности, ^{40}K) радионуклидов.

Перечисленные адаптивные перестройки связаны с избирательными фильтрацией/поглощением нерадиоактивных химических элементов, некоторые из которых, по-видимому, непосредственно в них участвуют. Можно предполагать, что одним из таких элементов является Mn , играющий важную роль в синтезе хлорофиллов.

Дальнейшее изучение взаимоотношений радионуклидов с нерадиоактивными — природными и техногенными — элементами в формировании адаптивных реакций растений позволит приблизиться к пониманию нелинейного характера зависимости «доза — эффект» применительно к действию проникающей радиации на биологические объекты, что может быть использовано при разработке новых эффективных методов радиологического мониторинга.

Список литературы

1. Воронов А. Г. Геоботаника. М. : Высшая школа, 1973. 384 с.
2. Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Санитарные правила СП 2.6.1.759-99. М. : Минздрав России, 1999. 6 с.
3. Ефимова М. А. Особенности побегообразования *Vaccinium myrtillus* L. в условиях атмосферного загрязнения (Кольский полуостров) // Растительные ресурсы. 2003. Т. 39, № 3. С. 82–88.
4. Жиров В. К., Кузьмин А. В., Руденко С. М. и др. Адаптации и возрастная изменчивость растений на Севере. В 2 ч. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2001. Ч. 2. 350 с.
5. Жиров В. К., Голубева Е. И., Говорова А. Ф. и др. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М. : Наука, 2007. 166 с.
6. Зауралов О. А. Два типа устойчивости растений // Проблемы и пути повышения устойчивости растений к болезням и экстремальным условиям среды в связи с задачами селекции. В 2 ч. Л. : Изд-во ВИР, 1981. Ч. 1. С. 9–11.
7. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск, 2003. 304 с.
8. Кизеев А. Н. Влияние промышленных загрязнений на состояние ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на Кольском полуострове : автореф. дис... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 26 с.
9. Кизеев А. Н., Жиров В. К., Никанов А. Н. Влияние промышленных эмиссий предприятий Кольского полуострова на ассимиляционный аппарат сосны // Экология человека. 2009. № 1. С. 9–14.
10. Кизеев А. Н., Карначев И. П., Жиров В. К. и др. Вопросы экологической безопасности на предприятиях промышленного комплекса Кольского Заполярья // Медицина труда и промышленная экология. 2010. № 4. С. 28–31.

11. Кизеев А. Н., Мерзляк М. Н., Соловченко А. Е. Применение спектроскопии отражения для неинвазивного анализа пигментов в растительных тканях // Молодой ученый. 2010. № 6. С. 90–97.

12. Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1998. 316 с.

13. Лянгузова И. В., Мазная Е. А. Влияние атмосферного загрязнения на репродуктивную способность дикорастущих ягодных кустарничков сосновых лесов Кольского полуострова // Растительные ресурсы. 1996. Т. 32, № 4. С. 14–22.

14. Маслובоев В. А., Горбачева Т. Т., Евдокимова Г. А. и др. Экологическое состояние наземных и водных экосистем в районе Кольской АЭС. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2010. 227 с.

15. Матишов Г. Г., Матишов Д. Г., Щипа Е. и др. Радионуклиды в экосистеме региона Баренцева и Карского морей. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1994. 237 с.

16. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы СП 2.6.1.758-99. М. : Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. 116 с.

17. Обухов А. И., Плеханова И. О. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях. М. : Изд-во МГУ, 1991. 184 с.

18. Полевая геоботаника : методическое руководство. В 5 т. / под общ. ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. М. : Изд-во АН СССР, 1960. Т. 2. 500 с.

19. Рубин Б. А. Курс физиологии растений. М. : Высшая школа, 1976. 576 с.

20. Черных Н. А., Сидоренко С. Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере. М. : Изд-во РУДН, 2003. 430 с.

References

1. Voronov A. G. *Geobotanika* [Geobotany]. Moscow, 1973, 384 p. [in Russian]
2. *Dopustimye urovni sodержaniya tseziya-137 i strontsiya-90 v produkcii lesnogo khozyaistva. 2.6.1. Ioniziruyushchee izlucheniye, radiatsionnaya bezopasnost'.* Sanitarnye pravila SP 2.6.1.759-99 [Sanitary Rules СП 2.6.1.759-99]. Moscow, 1999, 6 p. [in Russian]
3. Efimova M. A. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources]. 2003, vol. 39, no. 3, pp. 82-88. [in Russian]
4. Zhiron V. K., Kuz'min A. V., Rudenko S. M. i dr. *Adaptatsii i vozrastnaya izmenchivost' rastenii na Severe* [Adaptation and plant age variability in the North]. Apatity, 2001, pt. 2, 350 p. [in Russian]
5. Zhiron V. K., Golubeva E. I., Govorova A. F. i dr. *Strukturno-funktsional'nye izmeneniya rastitel'nosti v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya na Krainem Severe* [Structural-functional changes of plants in conditions of technogenic pollution in Far North]. Moscow, 2007, 166 p. [in Russian]
6. Zauralov O. A. *Problemy i puti povysheniya ustoychivosti rastenii k boleznyam i ekstremal'nym usloviyam sredy v svyazi s zadachami selektsii* [Problems and ways of improvement of plant resistance to diseases and extreme environmental conditions concerning selection tasks]. Leningrad, 1981, pt. 1, pp. 9-11. [in Russian]
7. Ivanter E. V., Korosov A. V. *Vvedeniye v kolichestvennuyu biologiyu* [Introduction to quantitative biology]. Petrozavodsk, 2003, 304 p. [in Russian]

8. Kizeev A. N. *Vliyanie promyshlennykh zagryaznenii na sostoyanie assimilyatsionnogo apparata sosny obyknovЕННОй (Pinus sylvestris L.) na Kol'skom poluostrove (avtoref. dis... kand. biol. nauk)* [Influence of industrial pollutions on state of assimilatory instrument of Scots pine (Pinus sylvestris L.) on Kola peninsula (Cand. Diss. Abstr.)]. Petrozavodsk, 2006, 26 p. [in Russian]
9. Kizeev A. N., Zhirov V. K., Nikanov A. N. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2009, no. 1, pp. 9-14. [in Russian]
10. Kizeev A. N., Karnachev I. P., Zhirov V. K. i dr. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational Medicine and Industrial Ecology]. 2010, no. 4, pp. 28-31. [in Russian]
11. Kizeev A. N., Merzlyak M. N., Solovchenko A. E. *Molodoi uchenyi* [Young Researcher]. 2010, no. 6, pp. 90-97. [in Russian]
12. Lukina N. V., Nikonov V. V. *Pitatel'nyi rezhim lesov severnoi taigi: prirodnye i tekhnogennye aspekty* [Nutrient status of northern taiga: natural and technogenic aspects]. Apatity, 1998, 316 p. [in Russian]
13. Lyanguzova I. V., Maznaya E. A. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources]. 1996, vol. 32, no. 4, pp. 14-22. [in Russian]
14. Masloboev V. A., Gorbacheva T. T., Evdokimova G. A. i dr. *Ekologicheskoe sostoyanie nazemnykh i vodnykh ekosistem v raione Kol'skoi AES* [Ecological state of land and water ecosystems in Kola Nuclear Power Plant area]. Apatity, 2010, 227 p. [in Russian]
15. Matishov G. G., Matishov D. G., Shchipa E. i dr. *Radionuklidy v ekosisteme regiona Barentseva i Karskogo morei* [Radionuclides in ecosystem of Barents and Kara seas region]. Apatity, 1994, 237 p. [in Russian]
16. *Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB-99): Gigenicheskie normativy SP 2.6.1.758-99* [Sanitary-hygienic Standards СП 2.6.1.758-99]. Moscow, 1999, 116 p. [in Russian]
17. Obukhov A. I., Plekhanova I. O. *Atomno-absorbtsionnyi analiz v pochvenno-biologicheskikh issledovaniyakh* [Atomic absorption analysis in soil-biological studies]. Moscow, 1991, 184 p. [in Russian]
18. *Polevaya geobotanika* [Field Geobotany] (eds. E. M. Lavrenko, A. A. Korchagin). Moscow, 1960, vol. 2, 500 p. [in Russian]
19. Rubin B. A. *Kurs fiziologii rastenii* [Plant Physiology Course]. Moscow, 1976, 576 p. [in Russian]
20. Chernykh N. A., Sidorenko S. N. *Ekologicheskii monitoring toksikantov v biosfere* [Ecological monitoring of toxicants in biosphere]. Moscow, 2003, 430 p. [in Russian]
- ASSESSMENT OF PROPERTIES OF BILBERRY-BUSH GROWING AROUND KOLA NUCLEAR POWER PLANT**
- A. N. Kizeev, S. F. Ushamova, V. K. Zhirov, *N. V. Ivkova**
- Polar-Alpine Botanical Garden - Institute named after N. A. Avrorin of Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity*
**Kola Research Laboratory for Occupational Health, Kirovsk, Russia*
- During 2009-2010 in the 15-km area around the Kola Nuclear Power Plant, there were studied bilberry-bush geobotanical, morphological and physiological characteristics. In conditions of an insignificant (within the natural values) increase of background X-radiation, there have been revealed at least three types of adaptive mechanisms directed to decrease of radionuclides absorption by plant tissues thorough activation or inhibition of growth and development processes. The data obtained are under discussion concerning non-specific stress mechanisms.
- Keywords:** bilberry-bush, Kola Nuclear Power Plant, radionuclides, chemical elements
- Контактная информация:**
Кизеев Алексей Николаевич — кандидат биологических наук, научный сотрудник учреждения Российской академии наук «Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН»
Адрес: 184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 18-а, Академгородок
Тел. (815-55) 2-24-97
E-mail: aleksei.kizeev@mail.ru