

высоту, диаметру, а, соответственно, и узорчатости древесины указывает на высокую пластичность данной березы, ее способность произрастать в различных условиях. В благоприятных почвенных условиях высокоствольные и безузорчатые растения формируют верхний ярус, а короткоствольные и кустовидные формы, обладающие более медленным ростом, обеспечивают сохранение влаги и уменьшение роста подлеска и травянистой растительности.

На лесосеменных плантациях березы карельской при организации заготовки семян с лучшими посевными качествами необходимо предусматривать мероприятия, способствующие лучшему опылению женских сережек с целью снижения доли партенокарпических семян, и проводить борьбу с насекомыми, повреждающими семянки, особенно клопом *Aradus betulae* L.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арнольди, Л.В. Сем. *Curculionidae* – долгоносики. Определитель насекомых Европейской части СССР. М.-Л., 1965. Т. 2. С. 485–621.
2. Гусев, В.И. Определитель повреждений лесных и декоративных деревьев и кустарников Европейской части СССР. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1951. 580 с.
3. Кержнер, И.М. Отряд *Hemiptera* – полужесткокрылые или клопы. Определитель насекомых Европейской части СССР. М.-Л., 1964. Т. 1. С. 655–845.
4. Любавская, А.Я. Карельская береза. М.: Лесная промышленность, 1978. 158 с.
5. Любавская, А.Я. Карельская береза и ее место в системе рода *Betula* // Сб. науч. тр. Ин-т экол. растений и животных УНЦ АН СССР. 1975. Вып. 91. С. 53–59.
6. Навашин, С.Г. Склеротиния березы (*Sclerotinia betulae* Woron.) болезнь сережек березы. М.-Л., 1951. Т. 1. С. 63–113.
7. Никольская, М.Н. Хальциды фауны СССР. М.-Л.: Наука, 1952. 574 с.

STUDY OF GROWTH ANOMALIES IN WOODY PLANTS IN CONNECTION WITH EXHALATION OF SUBSOIL RADON.

Bolondinskii V.K.¹, Belashev B.S.², Savitskii A.I.²

¹ Forest Research Institute Karelian Research Center of RAS, 11 Pushkinskaya St., Petrozavodsk, Karelia, 185910, Russia, Office tel. +7 (8142)768160, E-mail: bolond@krc.karelia.ru

² Institute of Geology Karelian Research Center of RAS, 11 Pushkinskaya St., Petrozavodsk, Karelia, 185910, Russia, Office tel. +7 (8142) 784316, E-mail: belashev@krc.karelia.ru

Abstract. Radon exhalation and radioactive background were investigated in the region of the natural growing of the Karelian birch, and also in the zone of mass woody anomalies. Background radiation was measured by means of the СРП-68 scintillation searching radiometer. The coordinates of measuring points were fixed through GPS navigator. Measured by means of the СИРАД М106 N radon indicator, the bulk radon activity at the roots of the Karelian birch was 111 Bk/m³, in the zone of mass woody anomalies – 60 Bk/m³, that considerably exceeded base-line values in safety zones. Relationship between radon exhalation and appearance of structural anomalies in woody plants in the zones of radon danger has been discussed.

ИЗУЧЕНИЕ РОСТОВЫХ АНОМАЛИЙ У ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В СВЯЗИ С ЭКСХАЛЯЦИЕЙ ПОДПОЧВЕННОГО РАДОНА

Болондинский В.К.¹, Белашев Б.З.², Савицкий А.И.²

¹ Учреждение Российской академии наук Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Пушкинская 11, 185910, тел. (8142)768160, E-mail: bolond@krc.karelia.ru

² Учреждение Российской академии наук Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Пушкинская 11, 185910, тел. (8142) 784316, E-mail: belashev@krc.karelia.ru

Несмотря на почти 100-летний период изучения карельской березы, существующие к настоящему времени гипотезы о происхождении карельской березы (*БК*) и механизмах образования узорчатой древесины не объяснили пока в полной мере причин и факторов, ее обуславливающих. Еще в 70-е годы появилась гипотеза о влиянии повышенного радиационного фона на появление *БК*. В.

Бандерс обнаружил непосредственно у трех *БК* недалеко от Елгавы (Латвия) электромагнитное излучение (по всей вероятности гамма-излучение), однако, по мнению автора, не такое сильное, чтобы вызвать мутагенный процесс [1]. Собранные в местах более сильного излучения образцы почвы и древесины *БК* имели повышенную радиоактивность.

Современная эпоха, в отличие от прошлых геологических эпох, характеризуется глобально низким радиационным фоном биосферы, но в районах месторождений урана он аномально высок и может служить сильным мутагенным фактором. Увеличение природного радиоактивного фона сдвигает равновесие биологической среды в сторону повышенного мутагенеза и соответствующего всплеска биологического видообразования [2]. Растения, в том числе древесные формы, развивающиеся на одном и том же месте десятки и сотни лет, являются индикатором избирательного влияния геологических неоднородностей земной коры. Имеются свидетельства об отклонениях от нормы у растений, преимущественно древесных, приуроченных к определенной местности. Расположение борových лент на Алтае совпадает с разломами земной коры, вдоль которых зафиксированы выходы радона [3]. Необыкновенно высокая частота встречаемости наплывов и «ведьминых метел» в этом районе дает основание предполагать, по мнению авторов, что они имеют не инфекционный, а мутантный характер. Аномалии встречались у сосны всех возрастов, включая подрост. Обнаружены химеры, состоящие из дикого и мутантного фенотипов, и целиком мутантные деревья.

В работе Боярских и Шитова [4] было проведено изучение внутривидовой изменчивости репродуктивной сферы жимолости синей (*Lonicera caerulea L.*) в различных по геолого-географическим характеристикам районах Горного Алтая. В преобладающей части ареала вкус плодов жимолости горький. Горький вкус наследуется по доминантному типу. Комплексные ботанические и геофизические исследования показали наличие реакции растения жимолости на проявление активной тектоники. Было выявлено массовое (до 91 %) фенотипическое проявление рецессивного признака – отсутствие горечи в плодах, а также увеличение их формового разнообразия в зонах активного тектонического разлома. Вне зоны активного разлома отмечалось снижение (до 10 %) проявления сладкоплодности. При сравнении микропопуляций из экологически сходных участков отмечалось увеличение размеров плодов в узле пересечения двух тектонических разломов. На отдельных участках в узлах пересечений разломных зон процессы геохимического и геофизического воздействия могут идти активней, обуславливая тем самым появление пятен проявления рецессивного признака и различных вариаций уровня изменчивости морфометрии плодов. Изучение популяционной изменчивости цветков жимолости показало высокий уровень полиморфизма формы цветков, а также увеличение частоты встречаемости растений с аномальным строением цветков. Воздействие геологической среды на растения, ее влияние на показатели изменчивости может быть самым различным, но оно всегда направлено на увеличение внутривидового формового разнообразия.

По данным исследований С.В. Летуновой и В.В. Ковальского [цит. по 2] в районе оз. Иссык-Куль у *Ferulagigantea* и *Tremurus stenophyllus*, растущих на почвах с повышенной концентрацией урана, встречаются уродливые формы с искривленными стеблями, у *Prunus prostata* – изменение окраски и размеров растения, иногда наличие опухолей, наростов и утолщений. При концентрации урана в них от 0,01 до 0,1 % установлено снижение содержания хлорофилла и увеличение содержания каротина и ксантофилла, вследствие чего у растений появилась бледно-зеленая окраска с желтовато-бурым оттенком.

Переход к цветению определяется в основном действием двух факторов внешней среды: продолжительностью светового дня и температурой. У карельской березы (*БК*) наблюдается явление протерандрии, когда в пределах одного и того же дерева мужские сережки созревают на 3–4 дня раньше женских [5]. Имеются данные, что избыток некоторых химических элементов, в том числе радиоактивных, в почве и материнской породе сказывается на характере цветения растений, и, возможно, в дальнейшем наследуется [2]. По разным причинам связь естественной радиоактивности и аномалий растений в настоящий момент практически не исследована. Нет систематических комплексных исследований по ботанике, радиогеологии и геохимии. Не ясно, какой уровень радиоактивности может привести к проявлению рецессивных признаков у растений, и, как следствие, к аномальным явлениям. Идет ли процесс видообразования в таких местах в настоящее время, или имел место только после схода ледника? Тогда локальная радиоактивность была гораздо выше, и ряд появившихся признаков в дальнейшем мог быть закреплен в генотипе.

В нашу задачу входило обследование района с повышенной радоноопасностью, в 50 км к северу от Петрозаводска, в 2 км западнее поселка Кончезеро Кондопожского района (оз. Габозеро). Работа носила подготовительный характер и включала разработку методики, обнаружение локальных скоплений аномалий у древесных растений, измерение радиационного фона на обследуемых участках, определение объемной активности подпочвенного радона непосредственно у корней карельской березы и в местах наличия аномалий других растений.

На участках, прилегающих к южному берегу оз. Габозера, пологий 100-метровый подъем заканчивался двумя каменистыми грядами, разделенными узким болотом. За ними расположено небольшое лесное озеро с болотистыми берегами. Затем следует 200 м подъем, упирающийся в скальную гряду высотой 30–50 м. Перед скалами растут огромные осины, высотой выше 30 м и диаметром ствола до 100 см. Известно, что гигантизм возникает у некоторых растений при наличии в среде тория [2]. На почвах, содержащих повышенные количества этого элемента, у осины (*Populus tremula*) листья могут достигать 30 см в поперечнике [2]. На описанной территории встречаются *БК*, занесенная туда, вероятно, семенами после большого пожара 1941 г., многочисленные капы, наросты на соснах, осинах, ольхе, березах, «ведьмины метлы». Имеются отклонения у кустарничковых и травянистых растений – 8 лепесков у седмичника европейского, сдвоенные ягоды брусники и т. д.

Данный район относится к территории с повышенной радоноопасностью. Всего в 1,5–2 км западнее экспериментального участка расположена аномальная радиогеохимическая зона с выходами урана 238, радия и цезия [6]. Данная территория занимает достаточно большую площадь. Южная граница радоноопасного района начинается от северного берега Укшезера, восточнее идет по озерам Кончезеро, Мунозеро, Пальеозеро и далее к северной части Уницкой губы Онежского озера (рис.). Западная граница проходит в 10 км западнее озера Гомсельское, а северная в 50 км севернее Медвежьегорска. Подобных больших районов в Карелии насчитывается несколько. Один из них, примерно такой же протяженности и площади, расположен в 100–150 км западнее места исследования. Наш район характеризуется локальными выходами естественных радионуклеидов и большим количеством аномальных радиогеохимических зон с повышенным содержанием урана, в том числе в жидком и твердом стоке рек (более 5 %). Узкая, но протяженная зона (около 50 км) с высоким содержанием урана расположена в 1 км от места проведения экспериментов. Основные же выходы естественных радионуклеидов находятся в 7–8 км от наших участков [6]. Там же обнаружены выходы на дневную поверхность массивов гранитов, в разрезе которых для пород второго и третьего класса содержание урана превышает 25 %. Подобный район с повышенной радиоактивной опасностью имеется также на северных берегах Ладоги и уходит вглубь Финляндии. На юго-западном берегу Онежского озера (пос. Шелтозеро) также имеются довольно обширные площади с содержанием урана. Локальные (до 20 км), но очень интенсивные выходы обнаружены на восточном берегу Медвежьегорского залива (пос. Челмужи). Особенно много локальных выходов естественных радионуклеидов в Заонежье. Во всех перечисленных зонах произрастает *БК*, однако, в северных радиоактивных районах (Беломорском, Сегежском, Калевальском) *БК* не обнаружена. В настоящий момент не обнаружено значительных выходов радионуклеидов в достаточно большом по площади Пудожском районе Карелии, где встречаемость *БК* тоже достаточно низкая [7].

Лесоводы отмечают [3, 5], что *БК* – растение каменистых почв. В Карелии, Скандинавском полуострове, в Ленинградской, Костромской областях она встречается среди каменистых россыпей, скоплений валунов и в местах выхода на дневную поверхность сплошных скал. Ряд исследователей считают вообще *БК* экологической формой березы повислой, которая сложилась в результате роста на сухих каменистых почвах [5]. Произрастание *БК* в Полесье на территории Белоруссии на лессовых почвах объясняется распространением флоры Подольской возвышенности, которая явилась в ледниковый период центром сохранения более 263 других реликтовых растений [5]. В районе оз. Кончезеро лавово-вулканокластические поля эффузивных зон представлены чередующимися в разрезе потоками и покровами плагиоклазовых, плагиоклаз-пироксеновых, пироксеновых порфировых базальтов с пакетами потоков пикритовых базальтов, среди которых выделяются массивные, брекчированные, вспененные, миндалекаменные, шаровые, шарово-подушечные, вариолитовые и другие текстурные разновидности. Потоки и покровы переслаиваются с пепловыми, агломератовыми туфами, гиалокластическими и разнообразными теффройдами. Тектурные особенности строения

способствуют формированию каналов транспорта эндогенных флюидов. Подобная структура характерна и для многих других мест произрастания *БК*.

Сопоставление карт встречаемости *БК* [7] с результатами радоновой съемки территории Карелии (рис.), показывает, что наибольшая плотность этого дерева на гектар приурочена в той или иной степени к центрам радиоактивности. Ареал *БК* занимает лишь очень небольшую часть ареала березы повислой. Северная граница ареала находится ниже изотермы 16°C (Медвежьегорск). Ограничение распространения *БК* в северном направлении приходится на 15°C – четко выраженный температурный рубеж, на котором начинается подавление транспорта сахаров по симпласту и замедление их оттока из листьев [8]. Несмотря на центры радиоактивности, имеющиеся севернее Медвежьегорска, *БК* там не обнаружена. Возможно, потепление климата будет способствовать в будущем продвижению ареала *БК* на Север.

Измерения радиационного фона проводили в сентябре 2010 г. сцинтилляционным поисковым радиометром СРП-68. Координаты точек измерения фиксировали при помощи GPS навигатора. Обследование района в 200–300 м западнее от южного берега оз. Габозеро показало, что величины радиоактивного фона были в пределах нормы. Минимальный радиационный фон составлял 2 мкР/час, максимальный – 7 мкР/час. Наибольшие значения фона были зафиксированы у скальных массивов. Вторым этапом исследования было определение объемной активности подпочвенного радона. Радон – это инертный газ без цвета и запаха, почти в 10 раз тяжелее воздуха, растворяется в воде. Радон (^{222}Rd), как и его «родители» уран (^{238}U) и радий (^{226}Ra), – альфа-излучатель. В процессе распада он продуцирует семейство других альфа-излучателей, которые называют дочерними продуктами распада (*ДПР*). *ДПР* радона – нестабильные изотопы свинца, висмута, полония и таллия, которые сами по себе являются мощными источниками альфа-излучения, и интенсивность альфа-излучения радона и *ДПР* во много раз выше интенсивности альфа-излучения ^{238}U и ^{226}Ra , вместе взятых.

Объемную активность подпочвенного радона у корней деревьев с аномалиями на глубине 40–50 см измеряли индикатором радона СИРАД М106N.

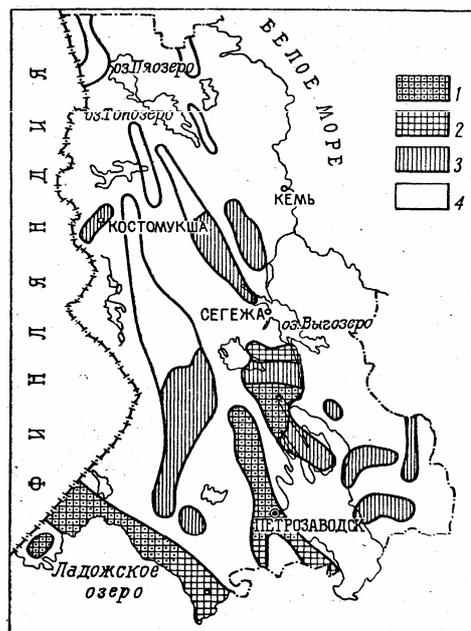


Рисунок. Схема потенциальной радоноопасности Карелии. Зоны риска от радона в зависимости от плотности населения: 1 – более 8 усл. ед., 2 – 4–8, 3 – 2–4, 4 – менее 2 [9].

Объемная активность подпочвенного радона у корней деревьев незначительно превышала верхнюю границу нормы (около 50 Бк/м³). Допустимый уровень эксхалации радона (плотность потока ^{222}Rd с поверхности почв и грунтов) составляет 80 мБк (п.261 СГТПОРБ-2003 г.). В зоне корней карельской березы объемная активность радона в момент измерений была выше, чем в зоне аномалий (корни сосны с капями), но этот показатель претерпевает большие изменения в течение года и зависит как от внешних факторов среды, так и от геологических факторов и может изменять-

ся в несколько раз [10]. Большую роль играет нахождение объекта (корни *БК*) длительное время в условиях повышенного фона, что может оказать влияние на обменные процессы.

Таблица 1. Объемная активность подпочвенного радона у корней деревьев с структурными аномалиями

| № | объект | возраст дерева, лет | высота дерева, м | Объемная активность радона, Бк/м ³ |
|---|----------------------|---------------------|------------------|---|
| 1 | Корни <i>БК</i> | 65 | 5,5 | 111 |
| 2 | Корни сосны с капями | 200 | 20 | 60 |

Для лабораторных исследований радиоактивности были взяты пробы почвенного покрова (грунта) и выходов коренных пород. Пробы измельчали до размера менее 5 мм, высушивали до постоянной массы, взвешивали и помещали в контейнеры для измерения содержания радиоактивных элементов радия (²²⁶Ra), тория (²³²Th) и калия (⁴⁰K). Определение удельной активности (*ЕРН*) этих элементов выполнено гамма-спектрометрическим методом в Институте геологии КНЦ РАН на гамма-спектрометре СГС-200. По шести навескам проб рассчитывали удельную эффективную активность $A_{эфф}$. Результаты измерения активности подпочвенного радона, малая величина радиационного фона, кларковые содержания урана, калия, тория в грунте и коренных породах свидетельствуют о существовании подводящих каналов радона с нижележащих горизонтов (табл. 2).

Таблица 2. Определение удельной активности *ЕРН* радия (²²⁶Ra), тория (²³²Th) и калия (⁴⁰K) гамма-спектрометрическим методом

| № | Образец | Удельная активность, Бк/кг | | | $A_{эфф}$, Бк/кг | МЭД, мкР/ч |
|---|---------|----------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------|
| | | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ⁴⁰ K | | |
| 1 | грунт | 15 | 14 | 361 | 64 | 6 |
| 2 | грунт | 12 | 8 | 460 | 60 | 6 |
| 3 | грунт | 4 | 10 | 492 | 62 | 6 |
| 4 | грунт | 2 | 20 | 158 | 42 | 6 |
| 5 | порода | 2 | 5 | 234 | 30 | 3,5 |
| 6 | порода | 5 | 5 | 82 | 19 | 4,5 |

Примечание: МЭД – мощность экспозиционной дозы мкР/час; $A_{эфф}$ – удельная эффективная активность Бк/кг.

Результаты измерения активности подпочвенного радона, малая величина радиационного фона, кларковые содержания урана, калия, тория в грунте и коренных породах свидетельствуют о существовании подводящих каналов радона с нижележащих горизонтов. Радон, как тяжелый газ концентрируется в почвенных и подпочвенных слоях и способен оказывать радиационное, мутагенное воздействие на растения. Эффективным инструментом такого воздействия являются альфа-частицы, пробег которых составляет 2–3 см. Несмотря на малость вклада радона в поверхностный радиационный фон, его действие на корни растений может оказаться существенным из-за длительности воздействия и циклической изменчивости объемной активности.

Таким образом, наше исследование показало, что в Карелии зоны повышенной природной радиоактивности, расположенные южнее изотермы 16°C, в значительной мере совпадают с обнаруженными границами природных популяций карельской березы. Несмотря на незначительный поверхностный радиационный фон, у корней карельской березы существовала повышенная объемная активность подпочвенного радона. Требуется массовые измерения радона и его мониторинг в местах, где обнаружены скопления структурных аномалий у древесных растений. Комплексные исследования в центрах аномалий с участием геологов, геохимиков, биологов широкого профиля, ботаников, генетиков и экологов могли бы дать не только ценную научную информацию, но поставить на научную основу и сделать перспективным геоботанический метод поиска полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Banders V., Juka V., Kazerovskis J., Laivenieks Dz., Teteris L. Patiesiba par Karelijas berzu // Meza Dzive. 1997. 3. P. 15–20.
2. Артамонов В.И. Зеленые оракулы. М., Мысль, 1989. 190 с.

3. Коровин В.В., Новицкая Л.О., Курносков Г.А. Структурные аномалии стебля древесных растений. М.: Изд-во Московского государственного университета леса, 2003. 280 с.
4. Боярских И.Г., Шитов А.В. Внутрипопуляционная изменчивость *LONICERA CAERULEA* L. в связи с особенностями геологической среды (на примере Горного Алтая) // Система "Планета Земля": 15 лет междисциплинарному научному семинару. 1994—2009. М. 2009. С. 206–209.
5. Любавская А.Я. Карельская береза. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 157 с.
6. Савицкий А.В., Титов В.К., Мельников Е.К. Уран, торий, калий в горных породах Карелии и вопросы радиоэкологии // Геология и охрана недр Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 1992. С. 99–113.
7. Ветчинникова Л.В. Карельская береза: ареал, разнообразие, охрана и перспективы воспроизводства // Труды КарНЦ РАН. Петрозаводск. 2004. Вып. 6. С. 3–27.
8. Новицкая Л.Л. Карельская береза: механизмы роста и развития структурных аномалий. Петрозаводск, 2008. 143 с.
9. Александров А.Г., Савицкий А.В. К проблеме изучения радоноопасности Карелии // Геология и охрана недр Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 1992. С. 7–11.
10. Кожухов С.А., Белашев Б.З., Савицкий А.И. Методические аспекты мониторинга радона территории Карелии // Матер. XIV междунар. конф. «Связь поверхностных структур земной коры с глубинными». Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2008. Ч.1. С. 272–274.

RESEARCH OF LIGHT DEPENDENCE OF PHOTOSYNTHESIS IN THE BIRCH SEEDLINGS IN NORMAL CONDITION AND IN CONDITIONS OF SOIL DROUGHT

Bolondinskii V.K., Vilikainen L.M.

Forest Research Institute of Karelian Research Center of RAS, 11 Pushkinskaya S., Petrozavodsk, Karelia, 185910, Russia, Office tel. +7 (8142)768160, E-mail: bolond@krc.karelia.ru

Abstract. In the conditions of long atmospheric drought the CO₂-exchange of seedlings of silver birch (*Betula pendula* var. *pendula*) and Karelian birch (*Betula pendula* var. *carelica*) was investigated. Values of photosynthesis of the Karelian birch and silver birch were similar. A substantial difference was found in the parameters of the light response curves of photosynthesis during a soil drought. The Karelian birch more intensively took up CO₂ in condition of soil water deficit during an atmospheric drought, and the low light intensity, and this was reflected in the higher slopes of the light response curves of photosynthesis. Effective absorption of CO₂ early in the morning and in cloudy and dark weather in the conditions of atmospheric drought allows to support carbon balance at the acceptable level and increase competitive ability of Karelian birch.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОСИНТЕЗА У САЖЕНЦЕВ БЕРЕЗЫ В НОРМЕ И В УСЛОВИЯХ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ

Болондинский В.К., Виликайнен Л.М.

Учреждение Российской академии наук Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Пушкинская 11, 185910, Факс: (8142)768160, тел. (8142)768160, E-mail: bolond@krc.karelia.ru

Показатели CO₂-газообмена листьев часто используются для сравнительного анализа различных видов и разновидностей. Считается, что величина максимальной скорости фотосинтеза генетически у вида детерминирована [4]. Ранее нами были выявлены некоторые различия в зависимостях фотосинтеза и дыхания у березы повислой (*БП*) и карельской березы (*БК*) от факторов внешней среды [1]. Была обнаружена у *БК* и тенденция к более эффективному использованию низких значений солнечной радиации [2]. Такого рода адаптационная особенность делает *БК* конкурентоспособной с *БП* на опушках леса, по берегам водоемов, на скалах и других освещенных местах произрастания. В Карелии, Финляндии карельская береза часто растет на скалах, где в засуху недостаток влаги ощущается особенно остро, и где *БП* оказывается нежизнеспособной. В нашей работе в рамках более общей задачи исследования влияния на CO₂-газообмен двух древесных пород факторов внешней среды изучались световые кривые фотосинтеза у 1–2-летних саженцев *БК* и *БП* при раз-