

адаптивной реакции, направленной на повышение выживаемости ценопопуляций в неблагоприятных условиях среды. Среди изученных признаков наиболее простыми и надежными индикаторами степени загрязнения почвы тяжелыми металлами на уровне фитоценоза является общее количество видов, а на уровне отдельных растений – площадь листовой пластинки подфлагового листа злаков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (грант 13-06-00414) и РФФИ (р_север_а 13-05-98817).

Литература

1. Аникиев В.В., Кутузов Ф.Ф. Новый способ определения площади листовой пластинки у злаков // Физиология растений. 1961. Т. 8, № 3. С. 375–377.
2. Головин А.А., Самаев С.Б., Соколов Л.С. Эколого-геохимическая оценка урбанизированных территорий // Прикладная геохимия. Вып. 7. М., 2008. С. 289–299.
3. Жиров В.К., Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаев А.Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М., 2007.
4. Жуйкова Т.В., Мордвина Е.С., Баймашева А.О., Фриз О.А. Фитоиндикация и промышленный регион // Биота горных территорий. Екатеринбург, 2002. С. 53–65.
5. Методические указания по изучению многолетних кормовых трав. Л.: Изд-во ВИРа, 1979. 43 с.
6. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л., 1964. 426 с.

Белашев Б.З.¹, Болондинский В.К.²

¹Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
belashev@krc.karelia.ru

²Институт леса Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
bolond@krc.karelia.ru

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО РАДОНА НА ПОЯВЛЕНИЕ РОСТОВЫХ АНОМАЛИЙ У БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И ДРУГИХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

В ботанических и экологических исследованиях очень редко обращают внимание на такой фактор среды как активность почвенного радона. Фактор этот приобретает особое значение при исследовании структурных аномалий у древесных растений, хотя аспекты воздействия радона на растения гораздо шире этого частного вопроса. Целью нашего исследования являлось обследование объемной активности радона в местах проявления структурных аномалий у древесных растений, в частности, на территориях естественного произрастания карельской березы.

Структурные аномалии древесных растений изучаются уже не одно десятилетие, однако причины их появления далеко не ясны (Коровин и др., 2003). К проявлениям структурных аномалий древесных растений относят древесину явора и клена маньчжурского, капы березы, грецкого ореха, клена ясенелистного, «ведьмины метлы». Аномальная древесина иногда формируется у сосны обыкновенной, ольхи черной, яблони, осины и других пород. Наиболее известным «аномальным» деревом считается карельская береза (БК). Хотя эта порода хорошо изучена, существующие к настоящему времени гипотезы о происхождении карельской березы не объяснили пока в полной мере причин ее возникновения.

В текстуре ее древесины присутствуют разнообразной формы темные включения, блестящие «завитки», волнисто изгибающиеся годичные слои. Структурные аномалии связывают с деятельностью камбия по окружности ствола. Волокна древесины направлены под разными углами, что придает ей волнистость, курчавость, наличие «завитков» и оригинальную цветовую гамму. Декоративная древесина, как правило, расположена в нижней, часто прикорневой части ствола. В верхней части ствола и на ветвях узорчатых особей карельской березы преобладают участки ровной поверхности. Потомство карельской березы расщепляется на узорчатые и безузорчатые особи, как правило, в соотношении 1:1.

Ареал БК составляет малую часть ареала березы повислой, занимает северо-западную часть России, включая Карелию, Ленинградскую, Ярославскую, Владимирскую, Калужскую, Брянскую области, страны Балтии и Скандинавии, Белоруссию и Украину. БК встречается на юге Карпат, редко в Польше и Германии, где запасы ее совершенно исчезли (Ветчинникова, 2004). Северная

граница ареала соответствует изотерме 16° С (Коровин и др., 2003). На протяжении ареала *БК* характеризуется разнообразием форм. Традиционными формами роста считают высокоствольную, короткоствольную, кустообразную березы, а типами поверхности ствола - шаровидно утолщенный, мелкобугорчатый и ребристый стволы. Существуют формы, выходящие за рамки этой классификации: гигантские кусты, карликовые деревца с шарообразными или цилиндрическими «наплывами» не на стволе, а на ветвях, лировидные стволы спиральной ребристости и другие. Разнообразие форм *БК* – свидетельство ее исключительной изменчивости, пластичности, приспособленности к разным условиям. Хотя форма дерева в значительной степени наследственно обусловлена, окончательная форма – не константа. Например, при неблагоприятных климатических условиях могут возникать карликовые формы.

Карельская береза произрастает на почвах разного состава. В Карелии, странах Балтии и Скандинавии она распространена на моренных валунных суглинках, супесях с примесью карбонатов, в местах с холмистым рельефом. Возможно, редкая встречаемость естественно растущих деревьев на плодородных почвах связана с тем, что она не выдерживает конкуренции с нормально развивающимися деревьями березы повислой или с деревьями других видов.

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 (Banders et al., 1997). Существуют косвенные свидетельства о растениях - индикаторах избирательного влияния геологических неоднородностей земной коры. В приуроченных к разломам земной коры боровых лентах на Алтае зафиксирована высокая частота появления наплывов и «ведьминых метел», имеющих не инфекционный, а скорее всего мутантный характер (Коровин и др., 2003). В лесах Зауралья, произрастающих на территориях с геологическими разломами, отмечают высокую полиморфичность березы повислой. Здесь в массовом количестве встречаются грубокорая форма березы повислой с ценной свилеватой древесиной (Махнев, Мамаев, 1972). Похожий признак характерен и для *БК*, что говорит об общих механизмах нарушений деятельности камбия и аномальном распределении нисходящего по флоэме потока ассимилятов. Часть ассимилятов, которая должна была бы идти на рост ксилемы, оказывается не востребуемой и происходит их отток в кору.

Сравнение данных по содержанию почвенного радона и ботанических исследований показывает, что очень часто наблюдается высокая корреляция активности радона и частоты появления древесных аномалий, в том числе увеличивается встречаемость карельской березы. Так, на территориях Белоруссии с фоновой активностью почвенного радона 2-10 кБк/м³ (Матвеев и др., 2012) произрастают сотни деревьев на гектар. Подобная ситуация наблюдается и на Заонежском полуострове в Карелии, где имеются локальные территории с высокой активностью почвенного радона, и частота встречаемости карельской березы достигала в 30-г годы 100 более деревьев на гектар [Соколов, 1950].

Привлекательность радиационной гипотезы состоит в том, что она указывает на связь аномалий древесных растений и их реакций с проявлениями тектоники. К абиотическим факторам тектонической среды, способным воздействовать на растения, относят радиоактивность, электромагнитные поля, потоки флюидов: водорода, метана, диоксида углерода, радона. Особый интерес в этом списке вызывает радон, как агент, способный вызывать у растений мутации. Радон – инертный газ без цвета и запаха, в 9 раз тяжелее воздуха, хорошо растворимый в воде. Как и его "родители" уран (²³⁸U) и радий (²²⁶Ra), радон (²²²Rn) - альфа-излучатель с периодом полураспада 3.82 суток, дающий семейство дочерних нестабильных изотопов свинца, висмута, полония, таллия – источников альфа-, бета- и гамма излучения. С водой радон и продукты его распада через корни проникают в растения, вызывают механические повреждения, генерацию стрессовых белков, интенсивное деление клеток камбия. Радиоактивность почвы сдвигает равновесие биологической среды в сторону мутагенеза и видообразования.

Альфа частицы, излучаемые радоном и его дочерние продукты распада (*ДПР*) обладают локальным характером воздействия. При взаимодействии с биологическим объектом они способны вызывать редкие, но сильные повреждения на уровне тканей, индуцировать повреждения в виде специфических макромутаций (протяженных и множественных делеций ДНК) и множественных повреждений микроструктур (мембран, субклеточных частиц). Имеющие энергию 4-6 МэВ альфа частицы при столкновении с молекулами среды на длине пробега образуют сотни тысяч пар ионов, меняющих физико-химические свойства клеток (Возжеников, Белыйшев, 2011). Их воздействию

подвергаются всасывающие корни, ксилема тонких и толстых корней, ствола, листья, флоэма, меристематические клетки. Во всех этих структурах помимо ионизации происходит кумулятивное накопление радиоактивного изотопа свинца (Pb^{210}) и более медленное – стабильного изотопа свинца. При достаточно высоких концентрациях радона альфа излучение Pb^{210} , масса которого непрерывно растёт, воздействует на камбиальные клетки, нарушая функционирование меристемы. Радиационное повреждение молекул ДНК, а также токсичное воздействие свинца может вызвать нарушения функции генов, осуществляющих контроль размножения и дифференцировки клеток.

В 2010-2013 г. мониторинг радона проводили в 50 км к северу от Петрозаводска, в 2 км западнее пос. Кончезеро вблизи озера Габозеро, в дер. Вендеры Кондопожского района и на окраине г. Петрозаводска в пос. Соломенное. Выбранные для обследования на радон участки располагались на западном берегу Онежского озера в полосе протяженностью 100 км примерно на равном расстоянии друг от друга. Территория хранит следы тектоники и вулканизма. Онежская геологическая структура имеет повышенную трещиноватость, формирующую каналы транспорта эндогенных флюидов, содержит урановые месторождения, участки выхода радионуклидов на дневную поверхность. В ней высока и активность радона.

Радиационный гамма фон измеряли сцинтилляционным радиометром СРП-68, объемную активность радона – радоновой станцией СРС-05, индикаторами детекторами радона СИРАД М 106 N, естественную радиоактивность грунтов и коренных пород -гамма спектрометром СГС-200. Измерение радиационного фона вели по параллельным профилям длиной 250 м, отстоящим друг от друга на расстояние 20 м. Образцы грунта и коренных пород исследовали на естественную радиоактивность таких элементов как радий ^{226}Ra , тория ^{232}Th и калия ^{40}K .

Основные измерения активности почвенного радона проводили вблизи п. Кончезеро (оз. Габозеро) непосредственно у обнаруженных здесь нескольких карельских берез, а также в зоне с большим количеством аномалий у растений. В 1 км от экспериментальных участков выявлены радиогеохимические зоны с высоким содержанием урана в жидком и твердом стоке рек, в 7-8 км - выходы радионуклидов и гранитных массивов. В пос. Вендеры и Соломенное измерения объемной активности радона проводили в указанных старожилами местах бывшего произрастания карельской березы, в бывшей яме углежогов и в подвалах отдельных домов. На всех обследованных участках радиационный фон 2-9 мкР/ч был в пределах нормы. В грунте и коренных породах обнаружены кларковые содержания радиоактивных изотопов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K . Интервальные оценки же объемной активности радона на участках обследования составили 200-700 Бк/м³. Полученные значения объемной активности подпочвенного радона нельзя считать низкими. Во всех пунктах они отличались от фоновых значений примерно на порядок. При этом радиационный фон не был надежным индикатором объемной активности подпочвенного радона.

Сравнение тектонической схемы Онежской структуры с картами ареала распространения карельской березы показывает, что места естественного произрастания карельской березы в значительной степени приурочены к тектоническим зонам и местам выхода радионуклидов на дневную поверхность. Особенно эта корреляция заметна для Заонежья с уран-полиметаллическими месторождениями (рис.). Наши измерения показали, что на юго-востоке Заонежского полуострова (пос. Толвуя) активность почвенного радона колебалась от 1500 до 8000 Бк/м³ с очень большими пространственными вариациями даже на площади 0.1 га. Имеются и значительные временные колебания. Измерения, проведенные в течении недели с помощью радоновой станции СРС-05 показали, что в одной точке величины активности почвенного радона могли изменяться на 50-70%. Кроме того, проявляются ритмы с периодом 3-4 часа.

В условиях Карелии активность почвенного радона обычно коррелирует с мощностью урановых месторождений и рудопроявлений, которые на настоящее время достаточно хорошо изучены. Наибольшая частота встречаемости БК отмечается в Заонежье. Для сравнения приведем большой по площади Пудожский район Карелии, в котором за исключением узкой полосы по восточному берегу Онежского озера крупных разломов и выходов радионуклидов не обнаружено. И там, где их нет, встречаемость карельской березы крайне низкая.

Для уяснения роли естественной радиации, как фактора, индуцирующего аномалии роста растений, целесообразно подойти к проблеме с цитогенетических, радиологических и экологических позиций. Растения принято считать более устойчивыми к внешнему облучению по сравнению с млекопитающими. Однако, внутреннее облучение вызывает у них выраженные эффекты радиационной стимуляции, морфологических и генетических изменений, лучевой болезни, старения, снижения продолжительности жизни и гибели. Внутреннее облучение оказывается эффективным

благодаря способности радионуклидов избирательно накапливаться в тканях растения и разрушать клеточные структуры за счет альфа-, бета- и гамма- излучений, в частности, от радионуклидов больших периодов полураспада, практически не выводятся из тканей.

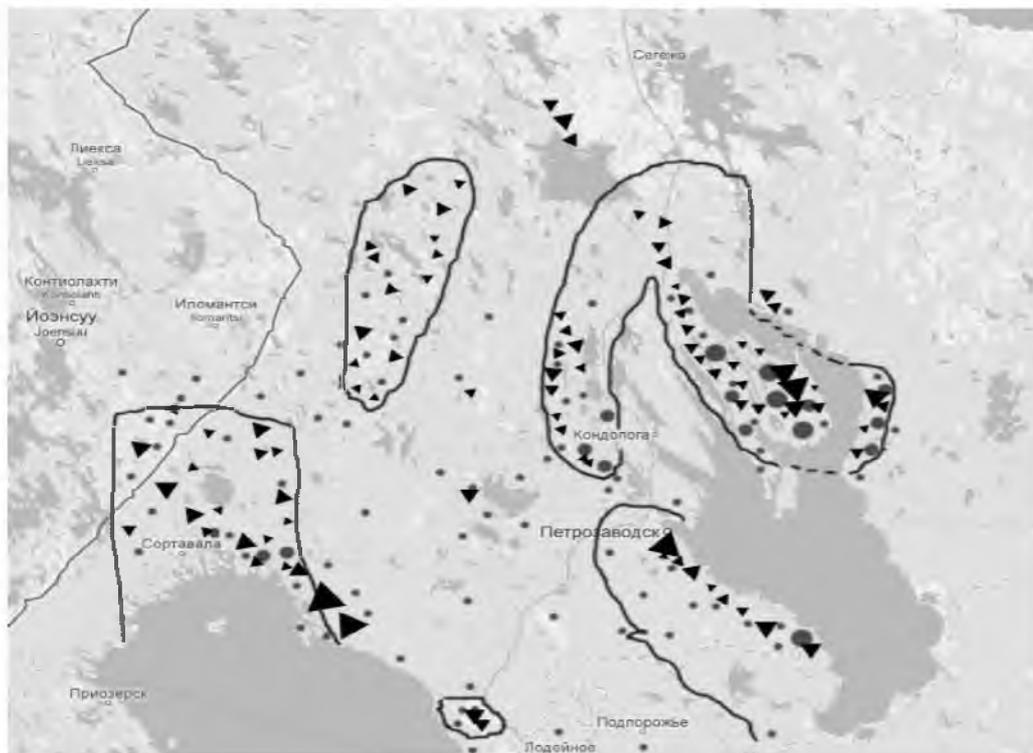


Рис. 1. Карта распространённости карельской березы, месторождений и рудопроявлений урана и радоноопасных районов Карелии. Серые кружки — частота встречаемости БК (небольшой диаметр — 1–2 дерева на га, большой — свыше 10 деревьев на га). Черные треугольники: небольшого размера — урановые рудопроявления, большого — месторождения урана. Черные линии — границы радоноопасных районов. Данные о встречаемости БК взяты из трудов Н.О. Соколова (1950), Л.В. Ветчинниковой (2004) и др.

Тектонические зоны отличаются повышенным радиационным фон, тепловой поток, состав и химизм почв, конфигурации электрического и магнитного полей, электромагнитных излучений. О чувствительности деревьев к этим факторам свидетельствуют четко выраженные на космических снимках полосы зон разломов, отражающие смену состава растительности даже при мощном чехле четвертичных отложений. Несмотря на осадочные образования, перекрывающие разломы, абиотические тектонические факторы влияют на модификационную и наследственную изменчивость произрастающих в них растений. В пределах зон разломов у древесных пород берез повислой (*Betula pendula*), Литвинова (*B. litwinowii*) и Радде (*B. raddeana*), клена Траутфеттера (*Acer trautvetteri*), бука восточного (*Fagus orientalis*), сосны Коха (*Pinus kochiana*) наблюдали вариabельность признаков полиморфизма, связанную с процессами роста клеток, проявившуюся в клоновых формах, дихотомии (ветвления ствола), морфозов, наростов, закрученности ствола и ветвей. Было отмечено, что число особей измененного фенотипа и количество стволов в клоне растут по мере приближения к линиям разрывных нарушений, дайкам, интрузиям, узлам пересечения поверхностных и глубинных разломов (Шиманская и др., 2013).

Помимо причин, вызывающих мутации, важную роль играют факторы, обеспечивающие выживание мутантам. Многоуровневая структурно-функциональная организация растений проявляет неоднозначные реакции на облучение. Так, гибель клеток с поврежденной ДНК влечет восстановление тканей за счет полноценных клеток и повышает радиорезистентность растения. В тех случаях, когда внутриклеточные структуры предотвращают гибель клеток, последующие деления таких клеток сопряжены с ошибками, нарушениями генома и негативно сказываются на жизненном цикле потомков. Нарушение деления клеток способствует образованию наростов.

В зонах разломов часто встречаются многоствольные деревья. Многолетние растения радиоактивных участков и их семенное потомство жизнестойкие, лучше приспособлены к среде. Дихотомию считают частным случаем многоствольности. При обычных условиях частота дихотомии ствола у сосны не превышает 0.5-1%. В зонах разломов она доходит до 25%, а в их центральных частях до 60% (Шиманская и др., 2013). Из лиственных деревьев дихотомии и другим аномалиям в тектонических зонах наиболее подвержены берёзы. Причины дихотомии и многоствольности деревьев до конца не выяснены. Многоствольность дает и карельской березе также ряд преимуществ. Произрастание в гнезде нескольких стволов позволяет дереву накопить больше снега зимой, противостоять резким колебаниям температуры, ранним заморозкам, солнечным ожогам, вирусным заболеваниям. Общая корневая система способствует усилению фотосинтеза, питания, сохранности растения даже при гибели одного или нескольких стволов. Крона нескольких стволов противостоит порывам ветра, длительно сохраняет листья. С такой кроной дерево лучше готовится к зиме. Компактность кустовидной формы создает благоприятные условия для работы насекомых опылителей.

Таким образом, радоновая гипотеза происхождения карельской березы по мнению авторов заслуживает право на существование и дальнейшее изучение. В ее пользу свидетельствуют обнаруженные концентрации почвенного радона, на порядок превышающие фоновые, приуроченность мест произрастания карельской березы к тектоническим зонам, выходам радионуклидов, трещиноватости фундамента. Мутагенное и соматическое действие радона на организмы, результаты микрклональных и цитогенетических исследований растений и схожие реакции березы на радон дают основание для вывода о расширении диапазона ее индивидуальной изменчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 13-04-00827-а).

Литература

1. *Ветчинникова Л.В.* Карельская береза: ареал, разнообразие, охрана, перспективы воспроизводства // Труды КарНЦ, Петрозаводск, 2004. Вып. 6.
2. *Возжеников Г.С., Бельшев Ю.В.* Радиометрия и ядерная геофизика. Екатеринбург. УГГГА, 2011.
3. *Коровин В.В., Новицкая Л.Л., Курносоев Г.А.* Структурные аномалии стебля древесных растений. М.: Изд-во Московского государственного университета леса, 2003.
4. *Матвеев А.В., Нечиторенко Л.А., Лосич В.В., Иваненко А.П.* Концентрации радона в почвенном воздухе на смежных площадях белорусской антеклизы и припятского прогиба (Беларусь) // Природопользование, 2012. Вып. 21. С. 68-74.
5. *Махнев А.К., Мамаев С.А.* Внутривидовая изменчивость в структуре популяций березы в горах Южного Урала в связи с высотной поясностью // Экология, 1972. № 1. С. 24-36.
6. *Соколов Н.О.* Карельская береза. Петрозаводск, 1950.
7. *Шиманская Е.И., Вардуни Т.В., Вьюхина А.А., Чохели В.А.* Разработка метода биотестирования недифференцированных факторов среды для территорий, приуроченных к зонам активных тектонических разломов, на основе анализа распределения морфологических изменений у ценозообразующих видов деревьев // Фундаментальные исследования. 2013. No 6. Ч. 5. С. 1178-1184.
8. *Banders V., Juka V., Kazerovskis J., Laivenieks Dz., Teteris L.* Patiesiba par Karelijas berzu // Meza Dzive, 1997.

Берлина Н.Г.¹, Исаева Л.Г.², Зануздаева Н.В.¹

¹Лапландский государственный природный биосферный заповедник, г. Мончегорск
n_berlina@laplandzap.ru

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
isaeva@inep.ksc.ru

ДИНАМИКА ПЛОДОНОШЕНИЯ И РАЗВИТИЯ *RUBUS CHAMAEMORUS* L. В ЛАПЛАНДСКОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Введение

Лапландский государственный природный биосферный заповедник расположен в западной гористой части Мурманской области в подзоне северной редкостойной тайги. Болота на территории заповедника занимают 23362 гектаров, что составляют 8.4% от общей площади заповедника.