

Министерство общего и профессионального образования Свердловской области  
Муниципальное управление образования городского округа Краснотурьинск  
МАУ ДО «Станция юных натуралистов»  
ДТО «Эколог-исследователь»

Всероссийский юниорский лесной конкурс

“Подрост”

Направление: экология лесных растений

**Тема:** «Изучение радиационной обстановки современными  
дозиметрами и биоиндикационными методами»

Автор: Шинкарева Устина

**Научный руководитель:**  
Давлятшина Нина Ивановна,  
ПДО высшей категории

г. Москва, 2019/2020 учебный год

## Оглавление

Введение	2
Обзор литературы	3
Обоснование исследования	4
Методы исследования	4
Результаты и обсуждение	5
Выводы	10
Источники информации	10
Приложения	11-20

## Введение

Актуальность изучения способов определения техногенного радиоактивного загрязнения местности, как фактора окружающей среды, определяется обеспечением безопасности человека. Особый научный и практический интерес вызывает изучение радиационной обстановки на территории лесопарков, предназначенных как для отдыха, так и для сохранения природных комплексов и осуществления экологического мониторинга. Актуальность радиационного изучения местности, на наш взгляд, обусловлена тремя причинами: скрытым от людей характером её проявления, её высокой поражающей способностью, техногенной особенностью местности. В связи с этим способы дозиметрии и биоиндикации весьма актуальны для потенциально опасных в радиационном отношении территорий. Краснотурьинск – один из немногих городов Свердловской области с повышенным уровнем радиационной опасности, так как в литосфере залегает довольно большое количество руды [1].

**Гипотеза:** предполагаем, что вполне реально определить растения биоиндикаторы, реагирующие на изменение радиации. Для этого опробуем использование взаимосвязи «растение-дозиметр» в достаточной статистической повторности.

**Цель работы:** сравнить уровень радиации в квартирах и на экологической тропе по растениям - индикаторам и данными современных приборов «Альфарад» и «СОЭКС».

### **Задачи исследования:**

1. Сопоставить взаимосвязь между доминантными видами живого напочвенного покрова с показаниями экотестера «СОЭКС» на экологической тропе;
2. Выяснить существует ли зависимость между изменениями в камбии березы и уровнем общей радиации и радона в квартирах;

**Объект исследования:** древесные породы и травянистые растения – биоиндикаторы уровня радиации в сравнении с результатами дозиметрии.

**Предмет исследования:** биоиндикационная роль древесных и травянистых растений по структуре поперечных срезов и доминантных видов травянистых растений.

**Практическая значимость:** обоснована возможность использования березы бородавчатой, брусники обыкновенной и черники обыкновенной в качестве биологических объектов в экологическом нормировании радиационного воздействия.

Метод может быть использован при разработке подходов к нормированию радиационного воздействия на окружающую среду.

### **Обзор литературы**

Биоиндикация как метод радиоэкологического мониторинга среды – один из способов диагностики лесных территорий, позволяющий дать объективную оценку степени загрязнения территорий радионуклидами, утверждают О.В. Малюта, Е.А. Гончаров (2008). Данный подход применяется на различных уровнях организации биосферы, в том числе клетки и органа, Н. Косиченко (2010). В. Тарбаева (2015) изучила несколько видов лесорастительных условий, где выявлены наиболее чувствительные к радиационному загрязнению виды растений: щитовник мужской, кукушкин лен и другие. Автор подчёркивает, что дополнительно в качестве биоиндикаторов можно рекомендовать чернику и бруснику [12]. У данных растений коэффициент перехода (КП) равный 5 единицам коэффициента накопления (КН), выше, чем у других сосудистых растений. Д. Криволицкий, Ф.Тихомиров (1988) доказали взаимосвязь уровня накопления радионуклидов со свойствами почвы (типом, гранулометрическим составом, водно-физическими и агрохимическими свойствами). На тяжёлых почвах поглощённые радионуклиды, особенно цезий-137 закрепляются сильнее, чем на лёгких. По данным Д. Криволицкого эффект миграции радионуклидов зависит и от метеоусловий. Так, стронций – 90 вымывается в самые нижние слои почвы. Злаковые травы, по утверждению авторов, меньше накапливают цезия по сравнению с бобовыми культурами. Доказано, что на кислых почвах радионуклиды интенсивнее накапливаются в растениях (Н.И.Санжарова и др. 2005). И хотя сами растения устойчивы к действию радионуклидов, но употребление их в пищу может быть опасным. Наш город характеризуется гранитовыми подстилающими породами, которые состоят из кварца, плагиоклаза, калиевого полевого шпата и слюд и характеризуются достаточно высоким содержанием урана (до 2 мг/л). Соответственно, можно ожидать и повышенное содержание радона (Уткин и др., 2000). Для его определения Н. Косиченко предложил выявлять уровень радиационного загрязнения территории по аномалиям микроструктуры стебля березы (Патент Российской Федерации). Считаем, что его научный труд поможет обеспечить радиационную безопасность населения, поскольку вдыхание радона в помещениях обуславливает эффективную дозу облучения (ЭД) в среднем около 1мЗв в год, т.е. половину дозы облучения людей от всех природных источников (НКДАР, 1982). Распадаясь, радон и торон выделяют альфа-излучение, тем самым облучает наши легкие (Рамзаев П. 2010). Автор утверждает, что радиационная опасность кроется в выделении радона из

гранитных пород и фосфоритов – основы строительных материалов (приложение 1). Доказано, что выход радона из грунта зависит от атмосферного давления и температуры окружающей среды. При низком давлении выход радона более высокий. Установлено, что концентрация радона в верхних этажах многоэтажных домов ниже, чем на первом этаже (Гаврилов М.В. 2015) Завершив исследование, мы сможем ответить на этот вопрос. По данным ВОЗ высокие показатели годовых эффективных доз облучения населения отмечаются в 8 республиках и в 8 областях, в том числе – Свердловской. Современные исследования показали, что радон является причиной центрального рака легких, и риск заболевания повышается при увеличении концентрации радона в помещении при длительном проживании на радоноопасных территориях (Банникова Ю.А. 1988). Схема радоноопасных территорий представлена в приложении 4.

На основании этого можем предположить, что как дозиметрия, так и растения биоиндикаторы одинаково значимы по выявлению радиационного фона местности.

Таким образом, в исследовании мы опирались на работу Косиченко Н.Е «Способ биоиндикации радиоактивного загрязнения местности», который доказал, что радиация приводит к аномалиям в камбии березы[5] и труды других авторов [6,7,8,12], утверждающих, что отдельные растения (черника, брусника) чутко реагируют на уровень радиации.

### **Обоснование исследования**

Известно существование локальных участков, где высокий радиационный фон обусловлен природными причинами. Как их определить? Для этого существуют отделы ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА. В КРАСНОТУРЬИНСКЕ ЕСТЬ Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области», который контролирует уровень радиации городской среды, куда мы обратились для замеров радона в квартирах, чтобы в дальнейшем определить радон еще и с помощью биоиндикации (по срезам древесины берёзы повислой) [5].

Чтобы проверить данные утверждения и реакцию местных растений на радиоактивный фон, нам потребуется сравнить уровень радиации по прибору «SOEKS» на участках, где заведомо преобладают те или иные растения.

### **Методы исследования**

Основные методы исследования аналитический, экспериментальный и микроскопического исследования срезов древесных пород для изучения аномалий камбия, указывающих на радиационный фон местности. При этом использовали бинокулярный микроскоп Levenhuk 595. Основное увеличение объектива x10, несколько первых кадров увеличение объектива (x 4), фотоаппарат Sony. В качестве дозиметров применяли прибор «SOEKS»,

который измеряет ионизирующие излучения: гамма, бета, рентгеновское излучение и АЛЬФАРАД DT-9501, который измеряет  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  и X-лучи [2].

*Для достоверности результатов использованы следующие методики:*

- Дозиметрия с помощью пробора экотестер «СОЭКС» (фото 1, приложение 3); В течение 1-2 минут фиксируются показания прибора в мкЗ/час. Затем высчитывается среднее значение, которое и принимается за показатель;
- Дозиметрия с помощью прибора измерения радона и торона радиометром АЛЬФАРАД. Погрешность прибора 30% (фото 2, приложение 5).
- Методика биоиндикации по Косиченко Н.Е.[5].

*Метод приготовления микропрепаратов по методике Косиченко Н.Е.*

У березы (повислой или пушистой) исследовали в конце вегетационного периода хорошо развитые однолетние побеги. Сделали тонкие срезы и под микроскопом подсчитали число аномалий. По ним определили дозу радона. Работы велись на двух участках: в городе и на тропе здоровья. Из интереса мы изучили под микроскопом срезы других древесных пород: ели, сосны, ивы, пихты.

### **Результаты и обсуждение**

Использование метода биоиндикации позволяет, не прибегая к физической дозиметрии, цитологическим и биохимическим исследованиям, показать уровень радиационного загрязнения территории, установить порог дозовых нагрузок, восстановить динамику радиационной обстановки на загрязненной территории. Благодаря тому, что древесные растения, в первую очередь, хвойные, затем лиственные остро реагируют на радиационные поражения, вполне реально основываться на их реакции. Мы выбрали для измерения радиационного фона тропу здоровья (схема маршрута в приложении 2) для того, чтобы узнать, оправдывает ли свое название эта тропа или все-таки она является не безопасной для человека. Изучив информацию по растениям-биоиндикаторам, мы сделали вывод, что черника, мох сфагнум, брусника и различные разломы земной коры могут нам показать высокий уровень радиационного фона [12]. И решили проверить это экспериментальным путем, пройти по этой тропе и измерить уровень радиации. Для этого мы сделали съёмку маршрута. Затем шли по тропе с включённым прибором «SOEKS» и обозначили на нем все изменения радиационного фона. Начало тропы характеризуется показателем радиации 0,09 мкЗ/час. Следующий участок, вероятнее всего, находится на разломе земной коры и отличается наличием крупных булыжников показания прибора 0,13 мкЗ/час (фото 5, приложение 6). Следующий пункт тропы, как и начало характерен наличием пырея, поэтому показатели фона близки по значению 0,08 мкЗ/час и 0,09 мкЗ/час. Вероятность повышенной радиации в карьерах и котловинах высокая и объясняется нарушением земной коры. Поэтому мы решили проверить радиационный фон в песчаном карьере рядом с тропой. Замеры показали, что это действительно так. Уровень радиации

соответствует 0,14 мкЗ/час (фото 7,8, приложение 6). Изучив радиацию на маршруте, мы сделали предварительные выводы:

1. На маршруте выявлено 9 участков (1,3,5,8,10,12,13,14,15) с уровнем радиации меньше 0,14 мкЗ/час, они характеризуются ЖНП с преобладанием пырея.
2. В точках 6,7,11 с уровнем радиации 0,14-0,16 мкЗ/час в ЖНП преобладает брусника. Таким образом, ее можно считать биоиндикатором более высокого уровня радиации, чем фоновые значения.
3. В точке 9 прибор показал 0,14-0,15 мкЗ/час, это места произрастания черники и сфагнома, которые также можно считать показателем повышенных доз радиации по сравнению с другими участками.

Наши выводы согласуются с исследованиями радиационного фона многих авторов [2,4,5,6,8]. Но мы решили изучить изменения в структуре срезов древесных пород по методу Н.Е. Косиченко на участках с разным значением радиации. Для сравнения пользовались схемами (фиг.1 и фиг.2, приложение 7). После чего сопоставим результаты микроскопического исследования с результатами дозиметрии.

Взяв образцы всех древесных пород, встреченных на маршруте, мы сделали поперечные срезы и рассмотрели их в микроскоп при увеличении 4\*16.

Подсчитав аномалии анатомической структуры стебля в однолетних побегах березы и зафиксировав их при разном увеличении, мы получили и классифицировали фотоматериал, который позволяет сделать выводы о том, что древесные и травянистые растения – прекрасные биоиндикаторы радиационной обстановки. По срезам микропрепаратов (приложение 8), на которых мы обозначили аномалии в камбиальном слое и измерению радиации по дозиметру «SOEKS» мы можем сделать определённые выводы.

Поскольку существует мнение, что хвойные породы более чувствительны к радиации, и они встречаются чаще, чем лиственные, наше исследование продолжилось микроскопическим изучением срезов данных пород.

В лесном биоценозе на отдельных участках встречается ива, которую мы также проанализировали по срезам (результаты в таблице 1).

## Зависимость числа аномалий от уровня радиации

таблица 1

Порода	Участок	Число аномалий	Уровень радиации
Береза	5	7	12
Береза	9	11	15
Береза (старая)	6	9	14
Береза	Улица Карпинского	9	12
Береза	Улица Попова	13	15
Елка	5	2	12
Ива	6	5	14
Лиственница	5	0	12
Пихта	14	5	13
Пихта	5	2, поражение сердцевины из-за пожара	12
Сосна (молодая)	6	0	14
Сосна	9	0	15

Гистограмма хорошо иллюстрирует зависимость числа аномалий от уровня радиационного фона (рис.1).

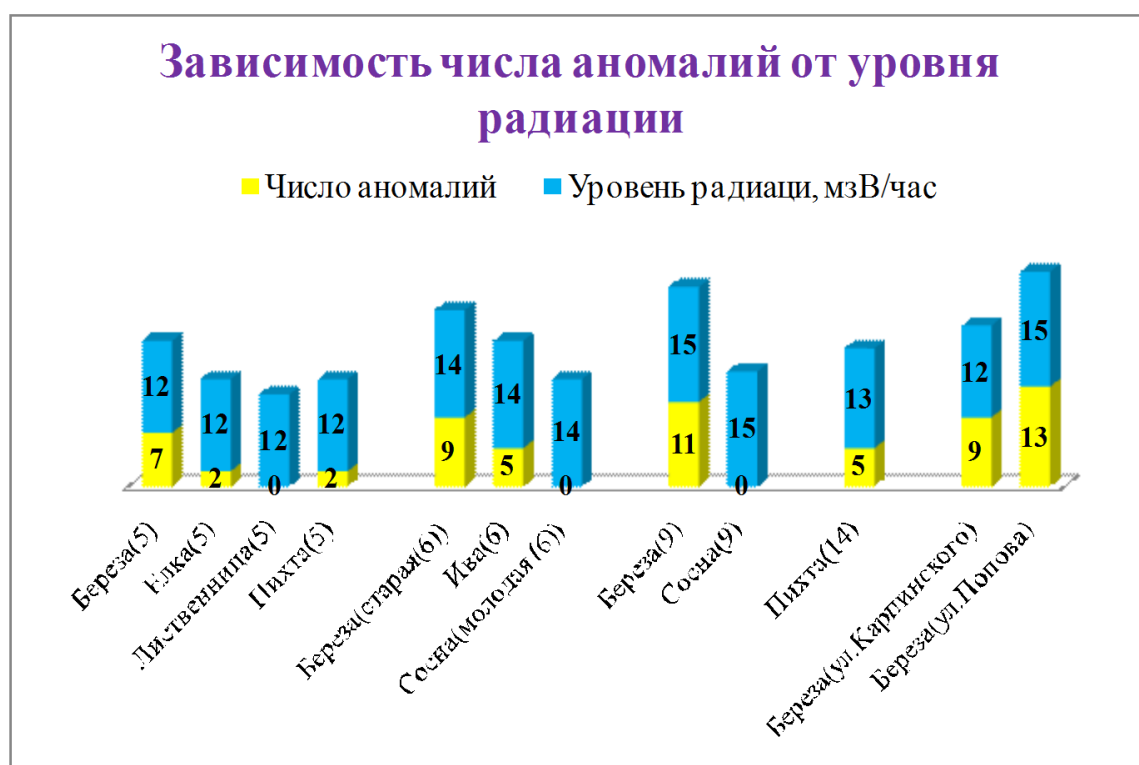


рис.1

Анализируя зависимость числа аномалий от уровня радиации стоит отметить, что береза бородавчатая - лучший биоиндикатор радиационного загрязнения по изменениям в камбии (аномалии), так как показала прямую зависимость количества аномалий от уровня радиации. Например, в условиях экологической тропы при аномалиях 7, 9, 11 радиация 0,12; 0,14; 0,15 мЗв/час, а в условиях города при аномалиях 9, 13 радиация 0,12 и 0,15 мЗв/час, соответственно. Среди темнохвойных пород ели и пихты наблюдается меньшее число аномалий, чем у березы, но прослеживается такая же зависимость. При двух выявленных аномалиях уровень радиации – 0,12 мЗв/час, а при 5 - 0,13 мЗв/час. У сосны и лиственницы при уровне радиации 0,14; 0,15 и 0,12 мЗв/час аномалий не обнаружено. У сосны с участков 6 и 9 (фото 11,12) и пихты с участка 5 хорошо видны изменения в структуре сердцевины (фото 10).

Считаем, что этот вопрос следует изучить более детально в следующей работе.

Следующий этап работы направлен на изучение радона в квартирах. Он выполнен по нашей заявке филиалом ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области» города Краснотурьинска по адресам Попова 71 и Карпинского 21 б, поскольку была договорённость о доступе в квартиры по данным адресам. Замеры выполнены на 1, 3 и 5 этажах зданий, потому что имеются теоретические и практические сведения о том, что радон скапливается на 1 или 5 этажах (фото 2,3,4 приложение 7). К тому же, по картам, опубликованным в книге директора музея имени Е.С. Фёдорова Гунгер Ю.В. (Турьинские рудники, 2007) под зданиями по ул. Попова находятся шахты, что может провоцировать исход радона в квартиры.

Результаты исследования представлены в таблице 2. Значение среднегодовой ЭРОА изотопов радона (Бк/м<sup>3</sup>) определяют на основе результатов измерений в краткосрочном режиме по формуле [9]:

$$\overline{\text{ЭРОА}} = \text{ЭРОА}_{Rn} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{Tn},$$

где ЭРОА<sub>Rn</sub> - измеренное значение ЭРОА радона, Бк/м<sup>3</sup>; ЭРОА<sub>Tn</sub> - измеренное значение ЭРОА торона, Бк/м<sup>3</sup>. Рассчитаем среднегодовые значения для каждого помещения (таблица 2). В результате установлено:

1. Чёткая зависимость количества радона от расположения квартиры на этаже. На первых этажах радона в 5 раз больше, чем на третьих и пятых этажах;
2. Прямая зависимость числа аномалий от радиационного фона на первых этажах зданий (при 9 аномалиях – 0,12 мкЗ/час, при 13 аномалиях - 0,15 мкЗ/час);
3. Дозы радона и торона в пределах допустимых значений (от 2 до 23,8 Бк/м<sup>3</sup>). Допустимые среднегодовые доза 100 Бк/м<sup>3</sup>.

Гистограмма наглядно показывает результаты исследования уровня радона по дозиметру и расчеты среднегодовых значений (рис.2).



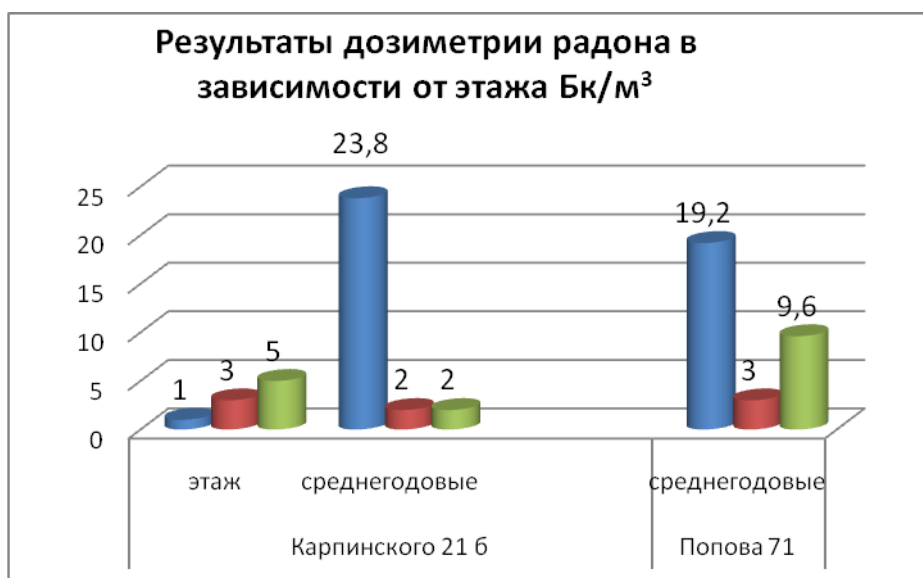


рис.2

### Результаты дозиметрии радона и торона

Таблица 2

Адрес	Этаж	Результат, Бк/м <sup>3</sup>	Среднегодовые значения	Результаты по срезам и дозиметру «SOEKS»
Карпинского 21 б	1	Rn=10±3(радон) Tn=3±2(торон)	10+4,6х3=19,2 Бк/м <sup>3</sup>	9 аномалий 0,12 мкЗ/час
	3	Rn=2±1(радон) Tn=0±0(торон)	2+0=2 Бк/м <sup>3</sup>	
	5	Rn=2±1(радон) Tn=0±0(торон)	2+0=2 Бк/м <sup>3</sup>	
Попова 71	1	Rn=10±2(радон) Tn=2±1(торон)	10+4,6х2=23,8 Бк/м <sup>3</sup>	13 аномалий 0,15 мкЗ/час
	3	Rn=3±1(радон) Tn=0±0(торон)	3+0=3 Бк/м <sup>3</sup>	
	5	Rn=5±2(радон) Tn=1±0(торон)	5+4,6х1=9,6 Бк/м <sup>3</sup>	

Анализируя результат дозиметрии по прибору «АЛЬФАРАД», можно сказать, что при одинаковых значениях радона и отличающихся значениях торона, уровень радона значительно возрастает (с 19,2 до 23,8 Бк/м<sup>3</sup>). Делая расчёты, мы не учитывали температуру в помещении, но доказано, что чем она ниже, тем доза радона меньше.

## **Выводы:**

1. Установлена прямая зависимость числа аномалий в камбии срезов березы бородавчатой от радиационного фона *на первых этажах зданий*. При 9 аномалиях – 0,12 мкЗ/час, при 13 аномалиях -0,15 мкЗ/час;
2. В условиях экологической тропы, выявлена прямая зависимость между количеством аномалий в камбии березы и показаниями дозиметра «SOEKS», так, при 7, 9, 11 аномалиях радиация составила 0,12; 0,14; 0,15 мЗв/час, соответственно;
3. На маршруте выявлено 9 участков (1,3,5,8,10,12,13,14,15) с уровнем радиации 0,08 и 0,09 мкЗ/час, они характеризуются живым напочвенным покровом (ЖНП) с преобладанием пырея.
4. В точках 6,7,11 с уровнем радиации 0,14-0,16 мкЗ/час в ЖНП преобладает брусника. Таким образом, ее можно считать биоиндикатором более высокого уровня радиации, чем фоновые значения.
5. В условиях квартир обнаружена взаимосвязь показаний дозиметра «АЛЬФАРАД» и прибора «SOEKS» с количеством аномалий в камбии березы. При среднегодовом значении радона и торона 19,2 Бк/м<sup>3</sup> зафиксировано 9 аномалий и 0,12 мЗ/час, в то время как при значении – 23,8 Бк/м<sup>3</sup> - 13 аномалий и 0,15 мЗв/час.

Полученные результаты, с долей вероятности, дают основание считать, что дозиметры и биоиндикаторы (береза бородавчатая, черника и брусника) прекрасно дополняют друг друга и дают исчерпывающую характеристику радиационного фона.

## **Наши благодарности**

Зверевой Татьяне Юрьевне - специалисту центра гигиены Краснотурьинска за возможность пользования дозиметром.

## **Источники информации**

1. Банникова Ю.А., перевод с английского. //Радиация. Дозы, эффекты, риск, М. «Мир»1988
2. Гаврилов М.В. <https://www.quarta-rad.ru/useful/vse-o-radiacii/radiaciya/> статья доктора физико-математических наук, профессора МИФИ
3. Диссертации о Земле <http://earthpapers.net/osobennosti-radiatsionnogo-monitoringa-lesnyh-biogeotsenozov-penzenskoy-oblasti#ixzz5WpawOVj3>
4. Зверева Т. // «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области» по городу Краснотурьинску, Реферат
5. Косиченко Н. Способ биоиндикации радиоактивного загрязнения местности// <http://www.findpatent.ru/patent/209/2092870.html> , 2010
6. Криволицкий Д., Тихомиров Ф., Федоров Е., Покаржевский А., Таскаев А.//Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз, <https://www.twirpx.com> >
7. Криволицкий Д.А. Тихомиров Ф.А. И др.-М.Наука.1988.-С. 134-

Крисюк Э.М. Уровни и последствия облучения населения // АНРИ. - 2002. - N 1(28). - С.4-12.

8. Малюта, Е. А. Гончаров. //Биоиндикация в условиях радиоактивного загрязнения, <http://www.doc.knigi-x.ru>

9. Радиационное загрязнение. [https://studref.com/418087/geografiya/radiatsionnoe\\_zagryaznenie](https://studref.com/418087/geografiya/radiatsionnoe_zagryaznenie)

10. Радиометр, <http://www.akvilon.su/products/analiticheskoe-oborudovanie/radiometriceskoe-oborudovanie/radiometry/7359/>

11. Рамзаев П. //Дозы облучения РФ в 2010 году , [www.niirg.ru/Issues](http://www.niirg.ru/Issues).

12. Тарбаева В. //Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие // Виды-индикаторы радиационного загрязнения для различных типов лесорастительных условий, 2015

13. Тихонов М.Н. Радон: источники, дозы и нерешенные вопросы//Атомная стратегия. -2006.- №23

15. Уткин В. И. и др. Радиоактивные беды Урала. — Екатеринбург : [Урал. отделение РАН], 2000. — 94 с.

## Приложение 1

Средняя эквивалентная доза радиации внутри помещений в зависимости от типа домов

	Тип жилых зданий	Доза, мЗв / год
1	Деревянные	0, 4± 0, 04
2	Шлакозаливные и шлакоблочные	0, 56± 0, 05
3	Кирпичные старые	0, 6310± 05
4	Кирпичные пятиэтажные	0, 6710± 04
5	Кирпичные высотные	0, 7410±04
6	Блочные пятиэтажные	0, 8110± 03
7	Панельные и крупнопанельные	0, 8310±03

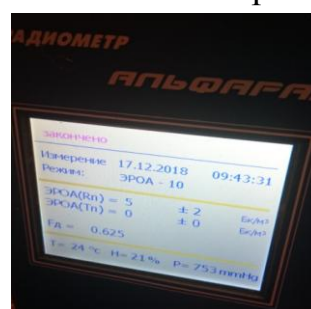
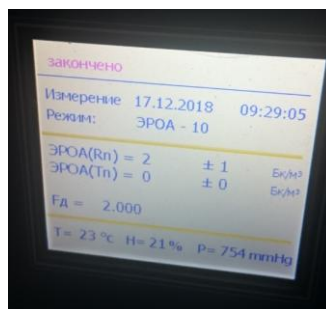


фото 1 прибор для измерения радиации

Потенциально радоноопасные и радоноопасные территории



Темно красный цвет – радоноопасные территории, светло красный цвет – потенциально радоноопасные территории



ф. 2 – замеры радона 1 этаж ф. 3 - замеры на 3 этаже ф. 4 – 5 этаж



фото 5 участок 2

фото 6 радиометр SOEKS



фото



7, 8 радиация в карьере



Фото 9 участок 6

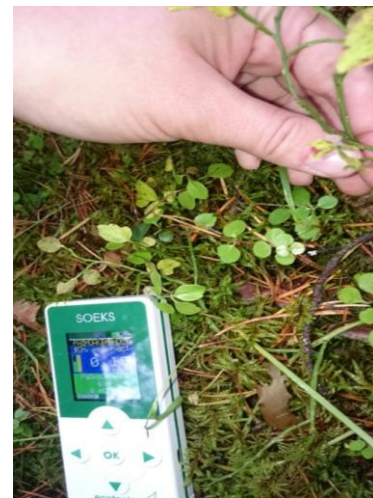


фото 10 участок 7



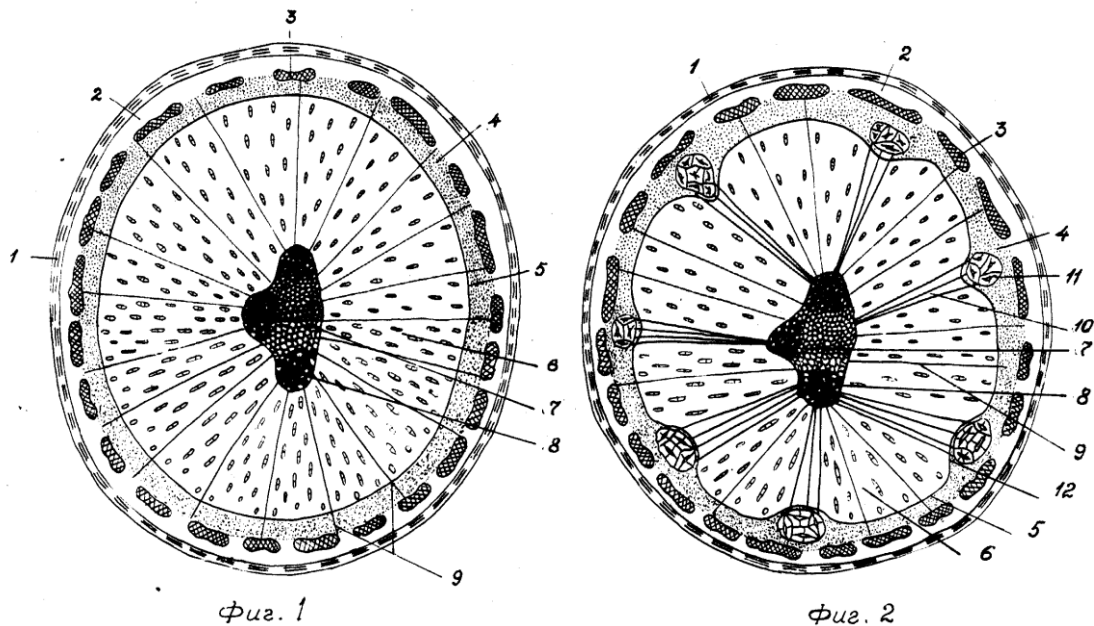
фото 11 точка 5



фото 12



Из патента Н. Косиченко



На фиг.1 представлен поперечный срез однолетнего побега березы повислой типичной структуры, без признаков аномалий. По направлению к центру ткани располагаются в следующем порядке: перидерма (1), паренхима первичной коры (2), волокна протофлоэмы (3), флоэма (4), камбий (5), древесина (6), лучи (9) и сердцевина (7). В углах сердцевины находятся листовые следы (8).

На фиг. 2 четко выделяется 7 аномалий микроструктуры стебля, образовавшихся при экспозиционной дозе, равной 25 мР/ч.



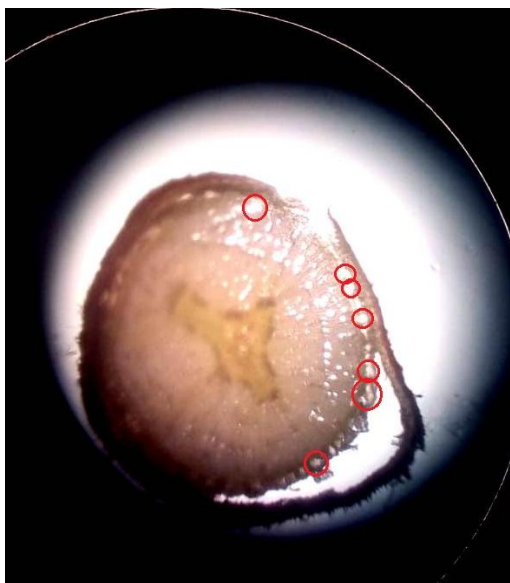


фото 1 береза уч.5



фото 2 береза уч.9



фото 3 береза (старая) уч.6  
(увеличение 4\*16)

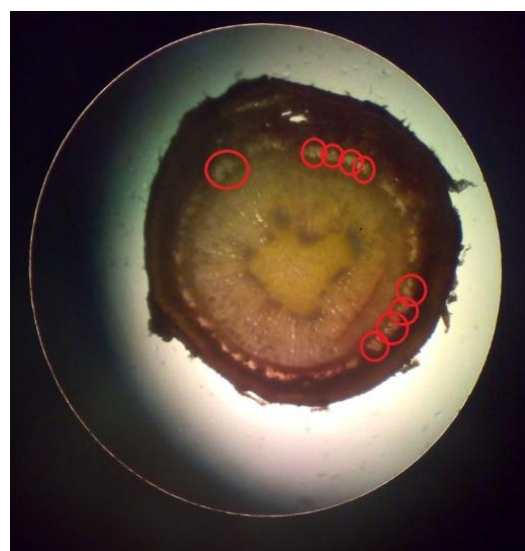


фото 4 береза ул. Карпинского

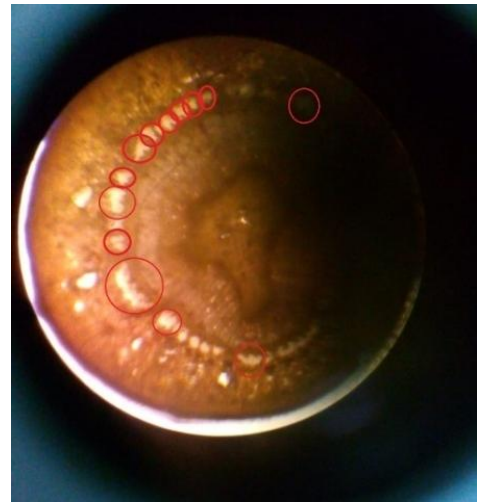
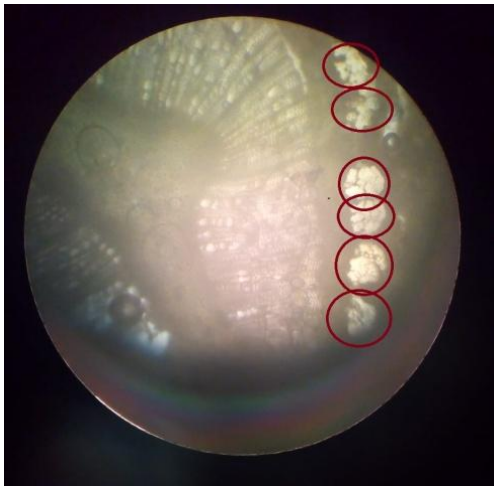


фото 5-береза ул. Карпинского (увеличение 10\*16) ф.6 - береза ул. Попова

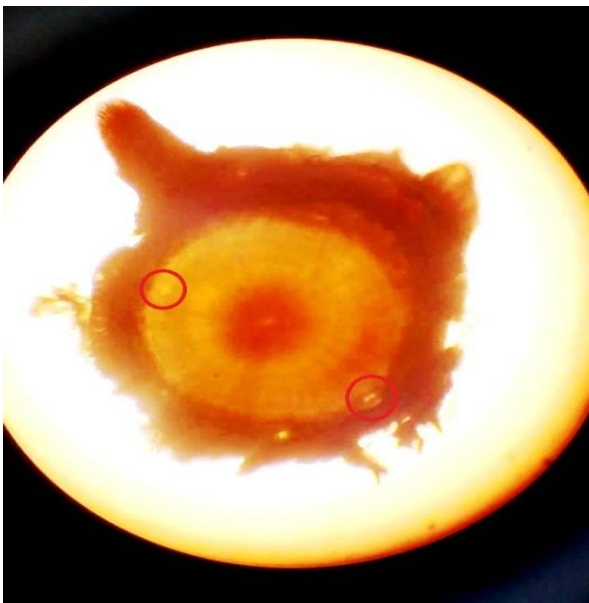


фото 7- ель уч.5

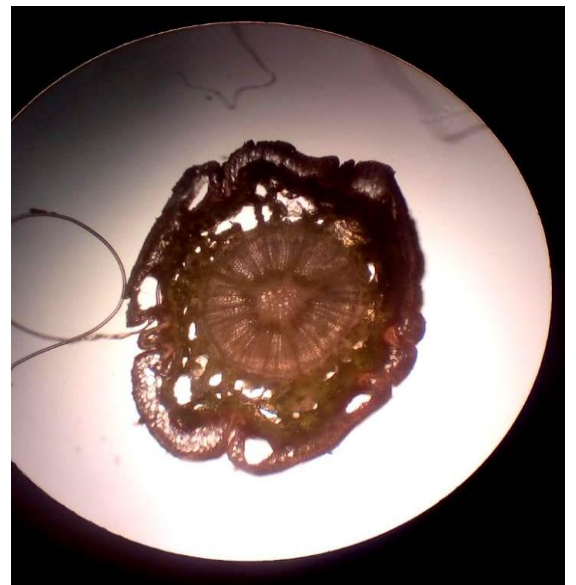


фото 8- лиственница уч.5



фото 9- пихта уч.14

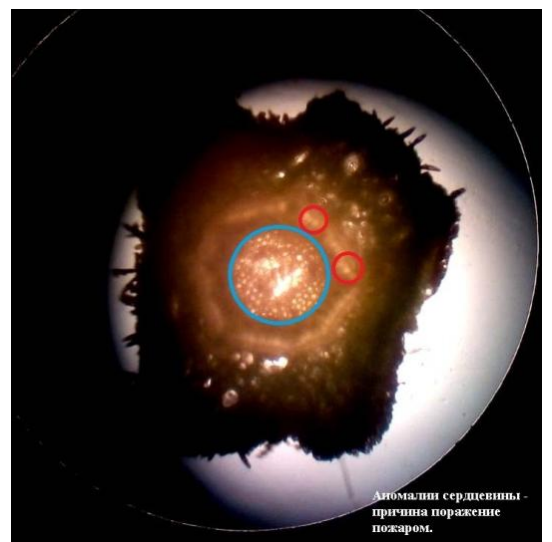


фото 10- пихта уч.5



фото 11- сосна (молодая) уч.6



фото 12- сосна уч.9



фото 13- ива уч.6