

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 504.054:539.16:577.391

На правах рукописи

МАМЫРБАЕВА АЙГУЛЬ НУРБЕКОВНА

**ВЛИЯНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОТДЕЛЬНЫЕ
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ АГРОЦЕНОЗОВ СИП**

6N0607 «Биология»

Магистерская диссертация

Научный руководитель:
к.с.-х.н., профессор Б. А. Тулеубаев

Республика Казахстан
Павлодар, 2009

Работа выполнена в Инновационном Евразийском Университете
на кафедре «Биология»
научный руководитель профессор кафедры «Прикладная экология» Тулеубаев
Бахриден Адилович

Рецензент: _____ Даржуман Гульсара Канатовна
Занимаемая должность: заместитель декана ХБФ ПГУ им. С. Торайгырова

Защита состоится _____ на заседании Государственной
аттестационной комиссии кафедры «Биология» Инновационного
Евразийского Университета (ИнЕУ) по адресу г. Павлодар, ул. М. Горького
102/4, кааб. 104

С магистерской работой можно ознакомиться на кафедре «Биология» ИнЕУ

Секретарь Государственной аттестационной
комиссии кафедры «Биология» ИнЕУ

Карашашева Д.Б.

Нормоконтролер
кафедры «Биология»

Шавенова Т.Ж.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

7

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ НИР

10

1.1 Природно-климатические особенности региона

10

1.2 Оценка радиоактивного загрязнения компонентов природной среды

13

1.3 Объекты, материалы и методика исследований

18

2 АНАЛИЗ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА РАСТЕНИЯ

22

2.1 Реакция растительного организма на радиоэкологические условия внешней среды

23

2.2 Распределение и миграция радионуклидов в почвенно-растительном покрове

27

2.3 Физиологические и цитогенетические механизмы адаптации растений к техногенным условиям природной среды

34

3 ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СИП

40

3.1 Состояние фитоценоза и состав флоры горного массива

40

3.2 Особенности распределения и накопления радионуклидов в почвенно-растительном покрове СИП

44

4 ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОГЕНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ РАСТЕНИЙ СИП

67

4.1 Изучение морфобиологических особенностей роста и развития растений

67

4.2	Выявление цитогенических эффектов на природных популяциях растений СИП
75	
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ
80	
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ
81	
	ПРИЛОЖЕНИЕ
86	

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы

Общеизвестно, что почвенно-растительный покров в местах проведения ядерных испытаний в пределах СИП, подвергались определенному радиоактивному загрязнению. Вопросы оценки возможного биоэкологического ущерба, причиненного природным популяциям растений в результате загрязнения территории радиоактивными веществами, имеют огромное практическое значение и весьма большой теоретический интерес. Научный интерес к этой проблеме вызван тем, что только в природе живой организм, в частности растение, сталкивается со множеством влияний как биотических, так и абиотических факторов, порой абсолютно нетипичных для условий его обитания.

Известно, что популяции растений обитают в определенных условиях среды, изменение которых не проходит бесследно для растительного организма. В этой связи актуальность изучения последствий хронического воздействия радиации на популяции растений не вызывает сомнений, что в полной мере позволит оценить эффективность совместного действия факторов радиационной и нерадиационной природы, которое невозможно воспроизвести в лабораторных условиях.

Актуальность темы: Изучение последствий многолетних ядерных испытаний на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона и исследования их влияния на биологические системы находятся в

ряду наиболее актуальных проблем. С особой остротой встает вопрос о возможности адаптации популяции высших организмов к хроническому ионизирующему облучению на территории полигона. Стрессы, подобные лучевому воздействию, нарушают стабильность растительных сообществ.

Следует отметить, что житняк, типчак, ковыль и волоснец являются многолетними злаками, отрастающим каждый год от корневища. Поэтому вклад мутантных вариантов, сразу не дискриминируются отбором, с каждой вегетацией будет возрастать. А также эти виды растений имеют сельскохозяйственное значение.

У многолетних растений СИП сменилось уже несколько поколений после первого радиационного воздействия. Смена поколений у исследуемых видов растений происходит каждые 5-7-10 лет, что дает возможность проследить изменения биологических показателей и формирования структуры популяции в динамике. Таким образом, растительные сообщества, подвергшиеся воздействию испытания ядерного оружия, являются прекрасными объектами для установления морфобиологических и генетических изменений в потомстве (в семенах растений).

Гипотеза: морфолого-физиологический и цитогенетический анализы семян должны дать представление о возможных нарушениях, в репродукционном процессе хронически облучающихся растений и о жизнеспособности семян. Результаты этих анализов (морфофизиологические и цитогенетические) важны и потому, что они позволят выявить возможные изменения, индуцируемые в растительных популяциях

Цель исследования: изучение особенностей распределения миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове и оценка биологических последствий хронического воздействия ионизирующих излучений на растения территории, бывшего СИП.

Задачи исследования:

- анализ состояния изученности проблемы;
- определение морфологических показателей доминантных видов растений и анализ полученных результатов и первичная классификация;
- сбор материалов для выявления цитогенетических эффектов у доминантных видов растений на территории СИП.

Новизна полученных результатов: На территории бывшего СИП исследования по изучению морфобиологических и цитогенетических изменений в тканях растительного организма ранее не проводились. Проведен качественный и количественный анализ морфофизиологических показателей – как масса 1000 семян, энергия прорастания и всхожесть семян. Проведен цитогенетический анализ хромосом в проростках семян доминантных видов растений СИП. Установлено, увеличение частоты структурных мутаций хромосом в митотических клетках первичных корешков семян у дикорастущих растений.

Практическая значимость полученных результатов: Полученные в работе данные расширяют имеющиеся представления о генетических последствиях

хронического воздействия ионизирующих излучений на растительности и имеют теоретическое значения для понимания роли хромосомных перестроек

Основные положения работы, выносимые на защиту:

1) Выявленные изменения в морфофизиологических и цитогенетических параметрах растений на территории СИП под влиянием хронического воздействия ионизирующих излучений.

2) Определение характера миграции радионуклидов в цепи «почва-растение» в зависимости от физико-химических свойств почв, от вида растений и их распределения в компонентах природной среды.

Достоверность и обоснованность: результатов работы определяется длительностью и многратностью повторностей опытов в полевых и лабораторных условиях, обязательной статистической обработкой полученных данных в ходе эксперимента.

База исследования – полевые и лабораторные работы в отделе радиоэкологии растений и животных Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК.

Апробация результатов диссертации:

1. III-МНПК «СИП. Радиационное наследие и проблемы нераспространения», Курчатов, 6-8.10.2008 г.
2. МНПК «Биологические, медицинские и психолого-педагогические проблемы адаптации», Павлодар, ИнЕУ, 23.01.2009г.,

Публикации по теме диссертации – основные результаты работы опубликованы в 7статьях, список их прилагается.

1. К вопросу освоения методики лабораторных анализов растений из дикорастущей популяции СИП. Вестник НЯЦ РК, Курчатов 2002 (в соавторстве).
2. Результаты морфобиологического анализа семян дикорастущих трав опытной площадки Балапан и Дегелен Ж. «Биологические науки Казахстана», №4, Павлодар, 2003, С.32 – 38 (в соавторстве).
3. Из опыта проведения морфологического и цитогенетического анализов хирономид Мат. I- гор. конф. Курчатов 2002 (в соавторстве).
4. К вопросу освоение методики лабораторных анализов растений СИП .Мат. I- гор. конф. Курчатов 2002 (в соавторстве).
5. Особенности цитогенетической структуры растений СИП Вестник ПаУ, 2003, №4 (в соавторстве).
6. Цитогенетический мониторинг природной популяций мышевидных грызунов бывшего СИП III международной научно-практической конференции
г.Курчатов 6-7 октября 2008г.с.68-70. (в соавторстве).
7. Исследование реакции растительных организмов на воздействие ионизирующей радиации МНПК 23.01.2009 г. Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар с.23-26. (в соавторстве).

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ НИР

1.1 Природно-климатические особенности региона

Территория СИП расположена на северо-востоке Республики Казахстан в зоне восточной части Центрального Казахского мелкосопочника.

В административном отношении Семипалатинский полигон находится на стыке трех областей: Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской, на каждую из которых приходится 54%, 39% и 7% соответственно. Площадь полигона составляет 18,5 тысяч км². Северная граница совпадает с водоразделом реки Иртыш, южная и юго-западная части представлены изолированными массивами низких гор.

Природно-климатические особенности полигона обусловлены расположением территории полигона в зоне засушливых степей с резко континентальным климатом.

Геологическое строение региона определяется сочленением двух крупных складчатых систем разного возраста: Чингиз-Тарбагатайской и Зайсанской. Здесь развиты породы от древнейших протерозойских до четвертичных, за исключением отложений мелового периода.

СИП находится в зоне влияния сейсмически активного регионального Главного Чингизского разлома, пересекающего его территорию с юго-востока на северо-запад. По историческим и современным данным в непосредственной близости от границ полигона уверенно установлен ряд слабых и средней силы землетрясений.

Особенности геологического строения определяют гидрогеологические условия. Несмотря на хорошие коллекторские свойства различных комплексов, пород, водообильность их незначительная, так как климат района континентальный с малым количеством осадков, высокой испаряемостью и связанным с этим дефицитом влажности.

Рельеф местности характеризуется различными ландшафтными условиями. Основными типами рельефа являются: мелкосопочник, слабоволнистая равнина, низкогорье, долины рек. Отдельные группы сопок чередуются с обширными долинообразными понижениями, с которыми связаны русла мелких маловодных ручьев, питающихся за счет таяния снегов. К бессточным, замкнутым депрессиям приурочены довольно часто встречающиеся блюдцеобразные солончаки. Днища таких депрессий окаймляются полосой гидроморфных солонцов в комбинации с полугидроморфными солонцевато-солончаковыми зональными почвами. По низким частям долин ручьев распространены лугово-каштановые почвы с достаточно мощным гумусовым горизонтом. Почвенный покров отличается многообразием типов и подтипов почв, но в основном представлен светло-каштановыми почвами.

Невысокая гумусированность, низкое содержание питательных элементов, высокий дефицит влаги почв определяют основные направления хозяйственного использования полигонных земель: пастбищное животноводство.

Гидрографическая сеть не развита. Единственной водной артерией с постоянным течением является река Иртыш. Остальные речушки маловодны, летом большинство малых рек и ручей пересыхают практически полностью, остаются лишь заболоченные участки в небольших углублениях.

Сеть мелких рек со слабой врезанностью речных русел имеет сезонный характер, т. к. источником их питания являются паводковые воды.

Гидрогеологические условия определяются многочисленными факторами, но основными из них являются рельеф и геологическое строение, которые определяют тип подземных вод. Они характеризуются повсеместным развитием горизонта трещинных вод в зоне выветривания независимо от их стратиграфического положения.

Подземные воды находятся в зоне интенсивного выветривания скальных пород, которые пополняются за счет фильтрационных свойств водовмещающих пород (водопроницаемость коренных пород составляет 0,05-34 м² в сутки) [1]. Ниже зоны выветривания подземные воды имеют распространение лишь в зонах тектонических нарушений. Основной водоносный горизонт располагается на глубине от 10 до 30 м от поверхности.

Воды всех водоносных комплексов и горизонтов гидравлически связаны друг с другом и образуют единый поток грунтово-трещинных вод, питание которых происходит главным образом за счет инфильтрации атмосферных осадков. Поток подземных вод имеет сложный радиальный характер с различными уклонами зеркала (до 0,08) в зависимости от рельефа.

Из ранее выполненных военными специалистами исследований следует, гидравлический градиент на площадке Балапан составляет 0,2-0,64 м/сут (70-230 м/год), т. е. фронт движения загрязненных вод с площадки Балапан может достичь реки Иртыш не ранее, чем через 250 лет [2].

Растительный покров довольно скудный, с однообразным травостоем и скупой биомассой. Господствующее положение занимают полынно-типчаковые и ковыльно-полынные группировки [3].

Климат резкоконтинентальный. Территория относится к числу районов с дефицитом атмосферных осадков. Определяется это тем, что барико-циркуляционные особенности Евразии обуславливают поступление преимущественно бедных влагой арктического воздуха и воздуха умеренных широт континентального происхождения. Засушливость местного климата сливается за счет пустынь Средней Азии и юга Казахстана. Осадки теплого полугодия сочетаются с высокими температурами, что снижает значение их как фактора увлажнения. Местные континентальные условия определяют устойчивый характер выпадения осадков. Наблюдаются значительные колебания их количества из года в год.

Барико-циркуляционные условия теплого полугодия благоприятствуют значительному выпадению осадков с мая по август. Для Казахстана возможно полное отсутствие осадков или ничтожно малое их количество в любом месяце года, а в отдельные годы месячные осадки могут быть значительными. В большинстве случаев это осадки ливневого характера.

Анализ многолетних данных показывает, что при суммарном количестве осадков за год 216,2 мм, в зимние месяцы выпадает 34,2 мм, в весенние - 41,4 мм, летние - 90,5 мм, осенние- 50,1 мм. Максимальное количество осадков выпадает летом в виде ливневых дождей. В периоды выпадения значительных количеств атмосферных осадков и весеннего снеготаяния часть воды транспортируется поверхностным водотоком за пределы горного массива, а часть просачивается по системам открытых трещин [7].

Средние скорости ветра изменяются по сезонам года. Весной, в период усиления циклонической деятельности, они возрастают и, наоборот, уменьшаются летом, когда барическое поле характеризуется наименьшими в году градиентами. Характер распределения годовых скоростей ветра преимущественно определяется двумя градациями: 0-3 м/с (62,5%) и 4-7 м/с (32,7%). Таким образом, сильные ветры в основном наблюдаются весной (апрель, май), реже в феврале и октябре. Максимальная скорость ветра может достигать 35-40 м/с.

Первый снег появляется обычно в конце октября, а во второй декаде ноября устанавливается снежный покров. Наиболее обильные снегопады отмечаются со второй декады января до середины февраля. Высота снежного покрова на открытой местности может достигать 60 см. Снеготаяние начинается в третьей декаде марта и заканчивается, обычно, в первой декаде апреля.

В почвенно–географическом отношении территория полигона охватывает две подзоны степной зоны, а именно, подзону сухих степей с зональным подтипом каштановых почв и подзону пустынных степей на светло-каштановых почвах [4]. Неоднородность почвенного покрова внутри подзон определяется условиями увлажнения и рельефом территории, а также составом почвообразующих пород. Среди зональных почв на территории полигона наиболее широкое распространение получили малоразвитые роды почв. В широких сухих межсопочных равнинах формируются автоморфные зональные нормальные и солонцеватые почвы, нередко в комплексе с солонцами автоморфными. В долинах мелких рек и ручьев, расчленяющих мелкосопочник, может наблюдаться генетический ряд почв от гидроморфных избыточно увлажненных до автоморфных зональных. Заканчивается этот ряд, как правило, зональными щебнистыми почвами на шлейфах сопок. Замкнутые бессточные депрессии на равнинах и в мелкосопочниках заняты солончаками. Днища таких депрессий окаймляются полосой гидроморфных солонцов в комбинации с полугидроморфными солонцевато-солончаковыми зональными почвами. Подробно описание почв, их распространение, формирование на территории СИП приведено в [4].

Растительность территории СИП по ботанико-географическому районированию относится к двум подзонам: сухих типчаково-ковыльных степей на каштановых почвах и опустыненных полынно-ковыльных степей на светло-каштановых почвах [5]. Распространение типов растительности (степного, кустарникового, лесного, лугового, пустынного) и смена зональных типов степей связана с факторами окружающей среды.

1.2. Оценка радиоактивного загрязнения компонентов природной среды

Характеристика радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова площадки "Дегелен". Низкогорный массив Дегелен расположен в подзоне светло-каштановых почв, но наличие изрезанности рельефа с участием низких гряд с абсолютными отметками до 1000м создают многообразие почвенного покрова. Непосредственно зональные светло-каштановые почвы встречаются по выровненным пологим склонам горных гряд в широких долинах ручьев. Каштановые почвы получили незначительное развитие, их можно встретить лишь на высоких плакорных участках. Среди зональных почв наибольшее распространение получили малоразвитые, неполноразвитые, щебнистые разновидности. В нижней части склонов развиты интразональные лугово-каштановые или луговые различной степени остепнения или обсыхания почвы. В русле многочисленных ручьев развиты, в основном, луговые почвы, и очень редко, лугово-болотные. Луговые почвы являются самыми распространенными, они же подвергаются наибольшему радиационному загрязнению [6].

Растительность долин ручьев, в основном, представлена болотистыми (*Phragmites australis*, *Ligularia macrophylla*), настоящими (*Calamagrostis*

epigeios, *Glycyrrhiza uralensis*), остепненными (*Poa trivialis*, *Galatella biflora*), галофитными (*Achnatherum splendens*, *Limnium gmelinii*) вариантами лугов; фрагментарно распространены кустарниковые заросли из *Salix cinerea*, *Rosa glabrifolia*.

Таблица 1- Значения коэффициентов перехода и накопления техногенных радионуклидов на припортальной площадке штолен Дегелена

Виды растений	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		^{239,240} Pu	
	Кп	Кн	Кп	Кн	Кп	Кн
ковыль	0,00252 ± 0,00026	0,4048± 0,0427	0.00132± 0,00023	0.2121 0,0371	0,000018± 0,000007	0,0030± 0.0013
полынь	0,00253± 0,00108	0,4064± 0,1740				
волоснец	0,00409± 0,00291	0,3216± 0,1362	0,00135	0.2169	0,000006± 0,000012	0.0010± 0.002
таволга	0,00120± 0,00053	0,1932± 0,0847	0.2	32	0.00006	0.0098
солонечник	0,00287± 0,0024	0,1266± 0,0575	0.00611± 0,00305	2,41± 0,94	0,00014 ± 6,3· 10 ⁻⁵	0,0152± 0,0122

Примечание – при наличии 3-х цифр произведена статистическая обработка.

Можно считать, что здесь имеет место начальная ступень почвообразования, и это подтверждается наличием очень незначительного по мощности гумусового горизонта. Зарастание на таких участках идет по типу первичной сукцессии. Она состоит из нескольких стадий. Первая – поселение единичных растений с дифференциацией по субстрату и микрорельефу. Скорость формирования вторичной растительности находится в прямой зависимости от гранулометрического состава (сильно каменистые участки припортальных площадок практически не зарастают). Первыми поселяются сорные и адвентивные виды: *Amaranthus retroflexus*, *Ceratocarpus arenaria*, *Artemisia scoparia*, *Kochia scoparia*, *Acroptilon repens*, *Fumaria vailantii*. В дальнейшем происходит распределение растительности по высотным поясам и микрорельефу.

Таблица 2 - Статистические показатели параметров удельной активности радионуклидов грунта и коэффициентов перехода (Кп) и накопления (Кн) в растения на припортальных площадках штолен

Показатели	n	M ±m	δ	min/max	уровень надежности	V
уд. активн. ¹³⁷ Cs	36	4216,91± 2162,97	129777,83	2 / 62453	4391,07	307,76

Кп ^{137}Cs	29	0,00254± 0,00062	0,00335	0,00002/0,013	0,00127	131,88
Кн ^{137}Cs	31	0.3408± 0.0712	0,3968	0,0034 /1,59	0,1145	116,43
уд. активн. ^{90}Sr	22	20298,82 ± 6744,70	31635,48	8 / 96	14026,39	155,85
Кп ^{90}Sr	20	0.48581± 0.42622	1.90614	0.00013/8,54	0,89210	392,36
Кн ^{90}Sr	21	42,87921 ± 33,0008	151,229	0,02/683,25	68,8386	358,41
уд. активн. $^{239, 240}\text{Pu}$	11	0,65536± 0,39817	1,32059	0,03 /4,6	0,88719	201,50
Кп $^{239,240}\text{Pu}$	12	0,00145± 0,00130	0,00453	0,000006/0,015	0,00288	311,46
Кн $^{239,240}\text{Pu}$	12	0,2782± 0,25144	0,87102	0,001 / 3,041	0,5534	313,07

Примечание: n-число вариационного ряда; $M \pm m$ – среднее и стандартная ошибка; δ - стандартное отклонение; min/max -минимальное и максимальное значение; V – коэффициент вариации.

Следующие стадии представлены разреженными группировками с доминированием видов рода *Artemisia*, лугового разнотравья – *Medicago falcata*, *Galatella*, *Achillea asiatica* – злаков: *Stipa capillata*, *Psathyrostachys juncea*, *Festuca valesiaca*, *Agropiron cristatum* [6].

Содержание техногенных радионуклидов в поверхностном слое смешанного техногенного субстрата на припортальных участках различно, от нескольких единиц до десятков тысяч Бк/кг. Распределение содержания радионуклидов в компонентах экосистемы техногенный субстрат – растения – вода из штольни было изучено на нескольких припортальных участках. На лабораторный анализ были отобраны следующие растения и их корни: ковыль киргизский (*Stipa kirghisorum*), полынь Маршалла (*Artemisia marschalliana*), волоснец узкий (*Leumus angustus*), таволга зверобоелистная (*Spirea hypericifolia*), солонечник трехжилковый (*Galatella trinervifolia*). Анализ показывает, что наибольшее содержание радионуклидов отмечается в грунте; в наземной части растения в единицы, десятки единиц раз меньше, а в корнях, как правило, эти значения несколько больше, иногда приближаются к величинам концентрации в грунте. Представлены значения коэффициентов перехода (K_p) и накопления (K_n) радионуклидов в отдельные виды растений, отобранных на припортальных участках (табл.1).

На площадке у порталов некоторых штолен были отобраны смешанные растительные образцы. Проведена статистическая обработка показателей. Из приведенных цифр видно, что размах колебаний широкий, но наибольшие K_p

и K_n отмечаются для ^{90}Sr , а наименьшие приходятся на $^{239,240}\text{Pu}$. Этот факт можно объяснить различной степенью растворимости, а, следовательно, и подвижности радионуклидов. Как известно наиболее подвижным является ^{90}Sr , а наименее – $^{239,240}\text{Pu}$.

Характеристика радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова степной площадки "Балапан". На территории площадки доминирующий тип почвы – зональные, светло-каштановые, часто солонцеватые и солончаковатые. Они распространены на склонах замкнутых понижений и на бортах долины р. Шаган. Растительный покров площадки "Балапан" представлен опустыненными полынно-дерновиннозлаковыми степями (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia sublessingiana*). Для изучения миграции искусственных радионуклидов в системе почва – растение на площадке "Балапан" апробированию были подвергнуты светло-каштановые почвы, часто нарушенной структуры и засыпанные техногенным грунтом или строительным мусором. Эти радиационно загрязненные участки представляют собой приустьевые площадки испытательных скважин, отвалы Атомного озера и участки ОИП. На радиационный анализ были отобраны зональные виды: ковыль, полынь, волоснец, типчак, житняк, пырей, таволга (Error: Reference source not found). K_p и K_n радионуклидов изменяются в широких пределах, что говорит не только о разной степени загрязнения компонентов экосистемы, но и о различной интенсивности процессов миграции радионуклидов.

Таблица 3 - Показатели коэффициентов перехода (K_p) и коэффициентов накопления (K_n) техногенных радионуклидов в различных видах растений на площадке Балапан

Виды растений	^{137}Cs		^{90}Sr		$^{239,240}\text{Pu}$	
	K_p	K_n	K_p	K_n	K_p	K_n
типчак	$0,00708 \pm 0,007019$	$0,0195 \pm 0,0113$	0,001681	0,2691	0,000056	0,0091
ковыль	$0,00281 \pm 0,000557$	$0,3862 \pm 0,0724$	$0,06454 \pm 0,060745$	$0,42307 \pm 0,0,26364$	$0,00061 \pm 0,000312$	$0,0973 \pm 0,0498$
полынь	$0,01200 \pm 0,007735$	$0,3279 \pm 0,0952$	0,002525	0,4041	0,000093	0,0150
волоснец	0,00143	0,0229				
житняк	0,000011	0,0018	0,002464	0,3943	0,000016	0,0026
пырей	$0,13108 \pm 0,086001$	$0,2210 \pm 0,1438$				
таволга	$0,04996 \pm 0,045819$	$0,0962 \pm 0,045819$	0,03271	0,6279		
смешан.	$0,0024 \pm$	$0,3669 \pm$	$0,00158 \pm$	$0,31248 \pm$		

раст. обр.	0,000366	0,0456	0,000748	0,139735		
------------	----------	--------	----------	----------	--	--

В растениях ^{90}Sr накапливается значительно больше, чем ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$. Причиной служит в первую очередь растворимость и подвижность этого радионуклида. Сравнение количества загрязнителей в разных видах растений пока выполнить затруднительно из-за различной достоверности данных.

Статистическая обработка данных по удельной активности грунта и коэффициентам накопления радионуклидов растениями проведена по общепринятому методу математической статистики с использованием программы пакета анализов "Exel -97", но в выборках использованы недостаточное количество значений, что предполагает недостоверность полученных цифр. Отмечается большой размах колебаний значений поглощенных радионуклидов в отдельных видах растений, что, по-видимому, зависит от уровня радиационного загрязнения техногенного грунта и значительных адаптационных возможностей растений. Но все-таки можно сказать, что наименьшие значения коэффициентов перехода и накопления имеет плутоний, наибольшие – стронций.

На площадке у порталов большинства штолен были отобраны смешанные растительные образцы, состоящие из различных растений, как сорных, так и зональных и интразональных видов. Была проведена попытка статистической обработки этих показателей, но разброс значений по удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr составляет десятки тысяч. Концентрация ^{137}Cs изменяется от 2 до 62453 Бк/кг, – ^{90}Sr от 8 до 95500 Бк/кг и, соответственно, коэффициенты накопления имеют стандартную ошибку в размере, достигающей средних величин. Коэффициенты накопления ^{137}Cs колеблется от 0,003 до 1,586; ^{90}Sr – от 0,022 до 683,29; $^{239/240}\text{Pu}$ – от 0,001 до 3,041.

Но полученный ряд усредненных значений показывает, что наибольшие коэффициенты перехода и накопления отмечаются для стронция. Этот факт можно объяснить различной степенью растворимости, а, следовательно, и подвижности радионуклидов. Как известно [67], наиболее подвижным является ^{90}Sr , а наименее – $^{239/240}\text{Pu}$.

Фитопланктон является одним из важнейших элементов водных экосистем, участвующих в формировании качества воды. Ассоциации реофильного планктона представлены главным образом диатомовыми и зелеными протококковыми водорослями. В составе лимнофильных комплексов наиболее массовыми вызывающими "цветение" водоемов, являются цианобактерии. Индикаторные свойства фитопланктона определяются не только фактом нахождения или отсутствия определенных видов, но и степенью их количественного развития. Поэтому изучение таких статистических характеристик, как видовой состав, численность, биомасса, распределение водорослей в водоеме имеет большое практическое значение. В формировании природных фитопланктонных сообществ участвуют многие факторы, и число изучаемых и измеряемых параметров может быть велико.

Поэтому, наряду с чисто феноменологическими приемами описания существуют формальные приемы изучения структуры сообщества. Одним из таких приемов, используемых для оценки качества воды, являются методы сапробных индикаторов. В основные задачи исследования входило изучение видового состава, численности водорослей в водоемах СИП и обнаружение индикаторных видов.

Проведены также исследования на водоемах СИП с целью оценки качества воды. Пробы воды были отобраны на разных участках "Атомного" озера и р. Чаган, отличающихся по уровню радиоактивного загрязнения. Во всех отобранных пробах воды обнаружены γ -излучающие радионуклиды. В западной части "Атомного" озера встречается 1 вид *N.holsatica* из семейства *Nitzschiaceae*, в северной части "Атомного" озера – 1 род, относящийся к семейству *Naviculaceae*, в восточной части – 2 вида *N.bacillum* и *A.acutiuscula*, относящиеся к семейству *Naviculaceae*, в южной части – 2 вида, относящиеся к двум семействам *Ch.ampitricha* и *S.biyugatus*. В целом в "Атомном" озере выявлено 5 видов водорослей. Из них к диатомовым водорослям относятся 3 вида, а к зеленым – 2. К индикаторным видам водорослей относится только *Scenedesmus biyugatus*. При наличии одного вида, качество воды не оценивается. В "Атомном" озере преобладают диатомовые водоросли, а также в его южной части встречаются зеленые водоросли. Видовое разнообразие не зависит от МЭД на поверхности и от γ – излучающих радионуклидов в пробах воды.

В р. Чаган на фоне содержания естественных и техногенных радионуклидов (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs) выявлено 11 видов, разновидностей и форм водорослей. Из них к диатомовым водорослям относится 10 видов, синезеленым – 1. До дамбы в р. Чаган встречаются только диатомовые водоросли, а после дамбы в точке 5 обнаружены сине-зеленые водоросли. В каждой точке встречаются лишь 1-3 индикаторных видов (т.2, т.3, т.5, т.6). В точке 1 и 4 индикаторные виды не обнаружены. Видовой состав фитопланктона в р. Чаган очень беден. Поэтому качество воды по этим данным не поддается оценке. Видовое разнообразие не зависит от содержания γ - излучающих радионуклидов в пробах воды. Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что в "Атомном" озере и р. Чаган видовой состав фитопланктона встречается в малом количестве. В исследованных водоемах, в основном, преобладают диатомовые водоросли. По видимому, это связано с наличием у них кремнеземных оболочек, что делает эти водоросли более устойчивыми к воздействию факторов окружающей среды. Среди обнаруженных водорослей индикаторные виды встречаются в количестве от 1 до 3 видов в обоих водоемах (в каждой точке или части водоема). В наших исследованиях при наличии не более трех индикаторных видов водорослей водоема качество воды оценить не возможно.

1.3 Объекты, материалы и методика исследований

Объектами исследования являлись виды растений, доминирующие на исследуемых участках площадок Балапан и Дегелен: *Leymus angustus* (Волоснец узкий), *Medicago falcata* (Люцерна серповидная), *Agropyron pectinatum* (Житняк гребневидный), *Stipa capillata* (Ковыль волосатик), *Artemisia marschalliana* (Полынь Маршалловская), *Spiraea hypericifolia* (Таволга зверобоелистная) и *Erigeron seravschanicus* (Мелколепестник зеравшанский). Исследуется семенное потомство доминирующих видов растений территории СИП, сформировавшееся на участках с разными уровнями радиоактивного загрязнения.

Для подробного исследования на каждом участке выбраны по 3-4 вида доминантов – растений. Сбор семян проводился по мере их созревания без учета возрастного состояния особей. Места сбора семян исследуемых видов трав отличались по уровню радиоактивного загрязнения. Сбор семян каждого вида растений осуществляется в 3^х кратной повторности. Собранные семена подвергались предварительной камеральной обработке (очистка, сортировка, учет пустозерности и соцветий, стратификация и др.).

Для оценки качества и жизнеспособности семян многолетних трав изучались морфофизиологические показатели: масса 1000 семян, энергия прорастания, всхожесть, длина семени. Масса 1000 семян определяется после их предварительного анализа и удаления всяких примесей. Из фракции чистых семян каждой партии сбора отсчитываются четыре пробы по 1000 семян (т.е. в 4^х кратной повторности каждая партия семян). При этом семена берут подряд без выбора. Отобранные пробы семян взвешивают с точностью до 0,01 г и вычисляют среднеарифметическое значение массы семян в 12^и кратной повторности (3 партии по 4 проб – 3х4). Длина семени определялась путем промера десяти экземпляров без выбора из каждой партии семян. Для определения энергии прорастания и лабораторной всхожести эксперимент проводится в термостате модели ТВ-3-25У-4.2. Для проращивания в чашках Петри с каждой партии семян отбирают (без выбора) по 50 или 100 штук в 4^х кратной повторности. В итоге для каждого вида растений число повторностей составляет 12 (3х4). Методика проращивания и технические условия определения энергии прорастания и всхожести семян изучаемых видов растений общепринятые [8].

Для цитогенетических исследований проводится анализ частоты хромосомных нарушений в апикальных меристематических корешках прорастающих семян изучаемых видов растений. При анализе учитываются такие анаомалии, как мосты, фрагменты, отстающие хромосомы, микроядра, несинхронность деления и т.п. Цитогенетический анализ проводился по общепринятой методике [8].

На участках, где выполнялись полевые работы, были проведены радиометрические измерения. Критерием оценки уровня радиоактивного загрязнения исследуемого участка служили показания полевых радиометров (СРП-88Н, Синтэкс, КРА-1, КРБ-1). Отбор и подготовка проб почв воды и растений проводились в соответствии с методическими указаниями,

межведомственной комиссии по радиационному контролю природной среды, а также по обследованию радиационной обстановки и радиоэкологической агрооценке сельскохозяйственных угодий на территории СИП [10,11]. Результаты всех проведенных измерений обработаны статистически.

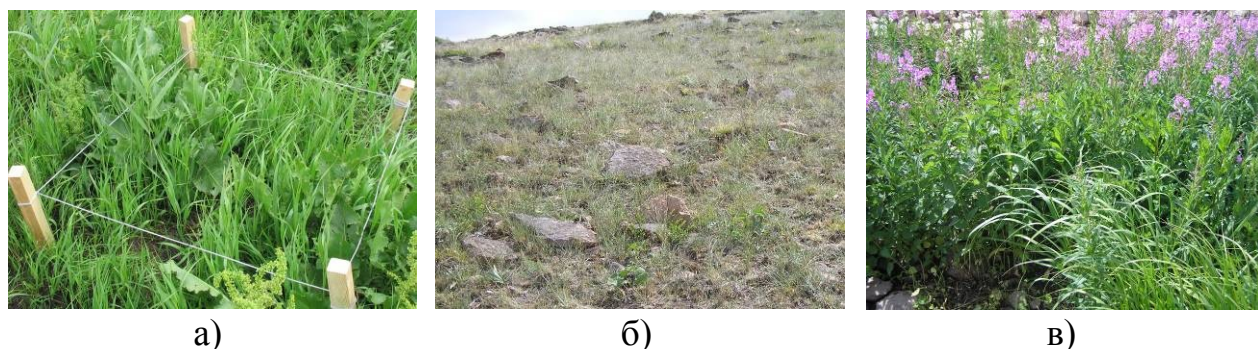


Рисунок 1 Определение продуктивности растительного покрова методом укосов (а). Степная (б) и луговая (в) растительность

Изучение растительного покрова территории в районе штолен № 176 и № 177 проводилось отдельными методами геоботанического описания с выделением основных типов растительности, определением проективного покрытия и видового состава растений [5]. Одновременно с описанием производилось определение продуктивности растительного покрова методом укосов на 3-х площадках в 1 м² каждая (рис.1). При этом травянистые растения срезались на высоте 1-3 см, крупнотравье – 4-6 см, у полукустарников срезался или обрывался прирост текущего года.

Для определения продуктивности в сухом весе срезанные растения раскладывались для просушивания до воздушно-сухого (ломкого) состояния и взвешивались.

Для детального освещения вопроса распределения радионуклидов между растениями и почвой заложено исследовательские площадки, на которых производился отбор смешанных проб почвы и растений (Рис. 2).

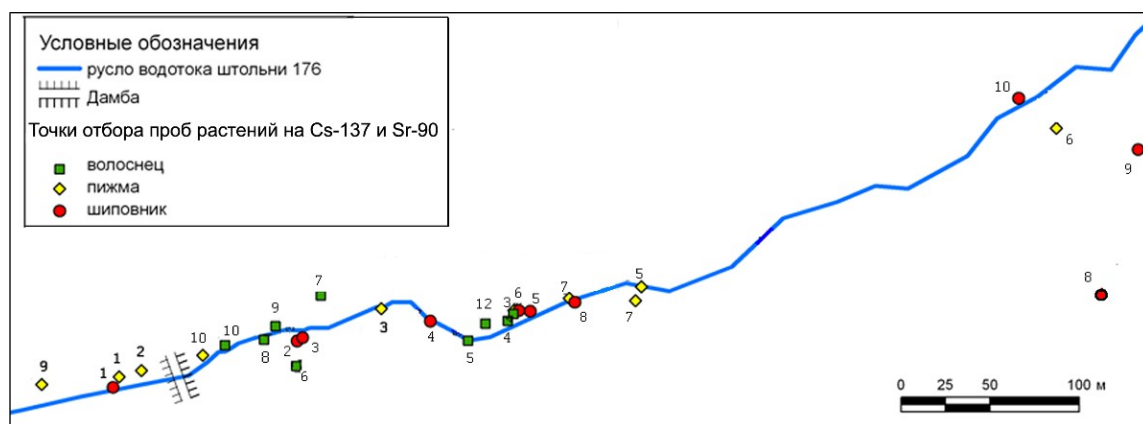


Рисунок 2 Схема расположения исследовательских площадок

В качестве опытных видов растений были выбраны пижма (*Tanacetum vulgare*), шиповник (*Rosa spinosissima*) и волоснец (*Leymus angustus*).

Смешанная проба почвы в зависимости от площади отбора растений состояла из одной, двух, либо трех проб почвы, отобранных методом "укола", отбираемого на глубину почвенного слоя до скальных пород (15-20 см). Пробы каждого вида растений отбирались вдоль русла ручья в местах радиоактивного загрязнения в десятикратной повторности. Всего было отобрано 30 проб растений и 30 проб почвы.

Для описания параметров накопления радионуклидов из почвы в надземной части растений рассчитаны коэффициенты накопления (K_n), определяемые как отношение содержания радионуклида в единице массы растительности к содержанию радионуклида в единице массы почвы [9].

Проба почвы отбиралась методом "укола", на глубину почвенного слоя до скальных пород (20 см). Всего было отобрано 36 проб растений и 36 проб почвы. Во всех отобранных пробах растений будет определено содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также трансурановых элементов.

Дополнительно для определения параметров накопления радионуклидов надземной частью (в том числе отдельными органами) растений в зависимости от фазы вегетации в местах водопроявлений было заложено 3 мониторинговые площадки. В качестве опытных растений были выбраны кусты ивы (*Salix triandra*, *S. viminalis*). Отбор проб на радионуклидный анализ производился 10 раз (через 15 и через 30 дней) в течение всего вегетационного сезона. Причем после второго отбора, в связи с пожаром, уничтожившим часть кустарниковых зарослей, пробы отбирались только на мониторинговой площадке № 2. Отобранные пробы представляют собой как смешанные образцы (стебли с цветками, стебли с листьями), так и отдельные органы растений (стебли (прошлого года и прирост), цветки, листья).

2 АНАЛИЗ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА РАСТЕНИЯ

В период ядерных испытаний некоторые участки территории бывшего СИП подвергались облучению чрезвычайно высоких доз ионизирующего излучения, что могло привести к серьезным генетическим последствиям и сильному радиоактивному загрязнению.

Известно, что хроническое облучение даже малыми мощностями доз приводит к возникновению значительного количества цитогенетических повреждений у растений, растущих на территориях, загрязненных радионуклидами [3]. Существует мнение о том, что в условиях хронического облучения имеет место возрастание скорости мутационного процесса и как следствие увеличение генетической гетерогенности популяций растений по сравнению с исходными популяциями этого же вида. Таким образом, отмеченные многими исследователями, факты возрастания частоты хромосомных нарушений у растений вызвали необходимость организации мониторинга за состоянием естественных травянистых ценозов опытных площадок СИП с целью изучения цитогенетических процессов в хронически облучаемых популяциях.

Всестороннее изучение влияния уровня радиоактивного загрязнения, среды обитания растений является необходимым условием для исследования вопроса об отдаленных последствиях воздействия ионизирующих излучений на их природные популяции. В этом направлении обобщающие результаты

научных работ по изучению действия повышенного естественного и искусственного фона ионизирующей радиации на популяции растений и животных даны в работе академика Н.П. Дубинина и соавторов [10].

Установлена повышенная радиоустойчивость многолетнего растения *Andropogon jilijolius*, растущего на почвах, богатых ураном, по сравнению с аналогично растущим на обычных почвах [11].

Показано, что на искусственно загрязненном радионуклидами (^{90}Sr и ^{90}J) участке изучено влияние хронического облучения на природные популяции дикорастущих травянистых растений. Отмечено повышение числа клеток с абберациями хромосом в проростках семян, собранных с опытных участков, по сравнению с контролем. При дополнительном остром γ - облучении семян опытных растений была обнаружена повышенная радиоустойчивость этих растений по сравнению с контролем. Делается вывод о радиоадаптации хронически облучаемых растений [12,13].

Данные по радиочувствительности растений показывают, что более молодые в филогенетическом ряду формы устойчивее к ионизирующим излучениям, чем эволюционно более старые формы. Это свидетельствует о выработке у растений механизмов адаптации к ионизирующим излучениям в процессе эволюции[6].

Доказано, что растения, особенно их семена – интересный и подходящий объект для радиобиоэкологических исследований [14]. Семена в фазе покоя являются независимым материалом от колебаний случайных сопутствующих факторов и в силу этого считаются удобной экспериментальной моделью для изучения ее сравнительной радиорезистентности [15,16]. В покоящихся семенах накопленные изменения находятся в скрытом виде, не взаимодействуют между собой и проявляются лишь при прорастании, поэтому считаются удобными объектами при изучении влияния ионизирующих излучений на живые организмы. По этой причине семена растений стали одним из основных объектов эколого-биологических исследований растительного покрова на территории бывшего СИП.

Научно-исследовательские работы по оценке радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова и организации цитогенетического мониторинга доминантных видов растений начаты ИРБЭ в 1997г. Предварительные результаты этих работ свидетельствуют о необходимости продолжения подобных исследований на различных участках территории СИП для получения биологической оценки последствий хронического воздействия ионизирующих излучений на природные популяции растений[17].

По данным Нишиты и др. относительное накопление растениями различных радиоэлементов из почв выглядит следующим образом:

По данным Эйзенбада М (1967) установлено, что радиоизотопы элементов, естественно присутствующих в почвах и обычно принимающих

участие в метаболизме растений, поглощаются вне зависимости от их радиоактивных свойств [18].

2.1 Реакция растительного организма на радиоэкологические условия внешней среды

Исследованиями Н.В.Тимофеева-Ресовского [19], впервые были показаны перестройки и изменения структуры ценозов под влиянием радиоактивного загрязнения. Биогеоценотический уровень изменений в природе – это не суммирование радиационных эффектов, наблюдающихся у отдельных видов. Это специфически сложная и стройная гамма ответных реакций биогеоценоза как единой интегральной системы [20]. Изменения состава ценоза, его структуры и другие нарушения, вызываемые облучением, могут быть обусловлены многими причинами. Это - непосредственное действие ионизирующих излучений на организмы, нарушения межвидовых биогенотических отношений, изменения микроклиматических условий, фенологические сдвиги т.п. [21, 22, 23]. Эксперименты с применением искусственных источников с высокими дозами показали, что под действием ионизирующего излучения в структуре фитоценозов происходит перестройка, обусловленная разной радиорезистентностью видов [24, 25]. Ценоотические изменения происходят не только при ингибирующих, но и при стимулирующих дозах облучения [26, 27, 28]. Радиобиологические изменения на уровне фитоценозов проявляются быстрыми или постепенными радиационными эффектами [29, 30, 31, 32]. В зависимости от дозы облучения первичные радиационные эффекты в биогеоценозах могут варьировать от незначительных изменений до полной гибели наименее радиорезистентных видов [33, 34, 35]. Спектр вторичных радиационных изменений в биогеоценозах достаточно широк. Типичной вторичной лучевой реакцией в облучаемых фитоценозах является более интенсивное развитие радиорезистентных видов [27, 36, 37, 38]. Вторичные эффекты, возникающие под действием облучения (сокращение продолжительности жизни, ослабление устойчивости к паразитам и к неблагоприятным условиям среды, нарушение жизнеспособности потомства), при наступлении особо неблагоприятных условий заметно понижают вероятность выживания облученных видов [26,39,40,45,46,47]. Совместное воздействие неблагоприятных экологических факторов и радиационного загрязнения территории может привести к явлениям синергизма [23, 24]. Биогенотические последствия вторичных нарушений, проявляющиеся в ослаблении жизнедеятельности организмов под влиянием облучения, многообразны. Угнетение роста организмов вызывает уменьшение продуктивности ценоза: снижения скорости нарастания биомассы организмов продуцентов и организмов-консументов. Изменяется скорость разложения органических веществ, а также скорость обновления сообщества. Радиоактивное повреждение растений приводит к появлению большого

количества мортмассы, что может служить причиной массового размножения энтомовредителей. [25].

Возможность перестройки ценозов под действием вторичных факторов впервые продемонстрирована в работах [22, 42, 43]. Вторичные радиационные эффекты на биоценотическом уровне составляют различные процессы, связанные с рассогласованием функциональных связей между компонентами биогеоценоза вследствие их радиационного изменения [21, 44]. Описываемые нарушения обусловлены, в основном, соматическим эффектом действия излучений на организмы. Но, кроме соматических эффектов, облучение также вызывает генетические последствия. Известно, что подавляющая часть мутаций, наведенных излучением, не является полезной для организмов, и такие мутанты рано или поздно исключаются из сообщества [39,41].

При современном уровне наших знаний, невозможно полностью предсказать какие изменения и сдвиги в структуре сообщества могут произойти при тех или иных условиях облучения, так как число факторов, способных повлиять на исход события, очень велико и не поддается точному учету [24,25, 31]. На уровне сообщества экологическая система приобретает новые свойства, которые невозможно вывести из известных свойств составляющих ее индивидуальных организмов [26, 37].

Все загрязненные зоны были расположены в регионах с исторически длительным сельскохозяйственным ландшафтом. Нарушения в загрязненных радионуклидами экосистемах могут быть достаточно разнообразными, они описаны для самых разных организмов [24, 25, 26] основная часть популяций животных и растений, обитающих в зоне радиоактивного загрязнения все-таки способна обеспечить репродуктивное возобновление популяции. Но и радиоактивное загрязнение оказывает активное воздействие на жизнь облучаемых живых организмов, их популяций, сообществ и экосистем. Такие экосистемы живут в особом режиме и отнюдь не нейтральны по отношению к окружающим территориям. На землях радиоактивного загрязнения динамичны и создаваемые излучением «дозовые поля», поскольку радионуклиды, выпавшие первоначально в форме аэрозолей на листву, траву и поверхность почвы, с годами оказывается почти полностью аккумулярованными почвенным покровом. Это изменение дозовых полей определяющим образом воздействует на динамику растительного и животного мира. [27].

Исследованиями растительного покрова в местах проведения ядерных взрывов на территории СИП выявлена дифференциация растений по радиорезистентности. Восстановление уничтоженного растительного покрова зависит от дозы облучения. При высоких дозах формирование растительного покрова лимитируется уровнем ионизирующего облучения и осуществляется группами радиорезистентных видов, определенной экологии. При малых дозах хронического ионизирующего излучения формирование растительного покрова, в первую очередь, зависит от экологических факторов

(увлажнения, освещения, микроклимата, микрорельефа, литозадафотопа и т.д.) [26, 44]. Радиочувствительность растений к облучению, создаваемому в результате накопления в тканях радионуклидов, изучена меньше, чем радиочувствительность к облучению от внешних источников. Поступившие внутрь растений радиоактивные вещества могут обладать повышенной по сравнению с внешним облучением опасностью, вызванной рядом причин. Первая и основная из них – способность некоторых радиоактивных веществ избирательно накапливаться в отдельных тканях и органах, что приводит к относительно высоким локальным уровням облучения. Вторая причина – увеличение опасности действия α - и β -излучателей, которые мало влияют на растения в условиях внешнего облучения, но могут стать необычайно сильным источником ионизирующей радиации при поступлении внутрь клеток и клеточных структур. Третья причина – как правило, длительные сроки облучения [49, 50].

В период ядерных испытаний некоторые участки территории бывшего СИП подвергались облучению чрезвычайно высокими дозами ионизирующего излучения, что могло привести к серьезным генетическим последствиям и сильному радиоактивному загрязнению.

Основным источником загрязнения наземных биогеоценозов в местах проведения ядерных испытаний является радиоактивные аэрозоли и газы. Крупные частицы, оседающие под действием силы тяжести, попадают непосредственно на подстилающую поверхность, в том числе и на поверхность растительного покрова.

Реакция природных популяций растений на долговременное хроническое воздействие радиации является слабо изученной темой в области радиоэкологических исследований. Исследование по экспериментальному облучению природных биотопов было проведено в Брукхафене (США) и Кадараче (Франция). Кыштымская и Чернобыльская аварии также позволили провести подобные исследования, но количество проанализированных экосистем по-прежнему остается небольшим. Только Кыштым можно рассматривать как район, подвергающийся долговременному хроническому облучению.

Известно, что существует принцип зональности проявления биологического действия разных мощностей доз ионизирующего излучения. Выделяют зоны: а) явного экологического нарушения; б) экологической маскировки; в) физиологической маскировки; г) радиационного благополучия; д) радиационной недостаточности или неопределенности.

По Н.В. Тимофееву-Ресовскому резкие изменения среды, усиливая действие всех элементарных эволюционных факторов (популяционные волны, мутационный процесс, миграция, отбор), могут приводить к качественным преобразованиям генофонда популяции [51].

Долговременное радиационное облучение живых организмов вызывает генетические изменения, которые могут привести к мутациям, являющимся в свою очередь почти всегда пагубными. Однако, в хронически облучаемых

популяциях со временем могут проявляться механизмы адаптации. Предпосылкой для адаптации организмов к повышенному фону радиации является генетическая гетерогенность составляющих популяцию особей и отбор наиболее радиорезистентных индивидуумов.

Растительные популяции территории СИП, подвергшиеся хроническому воздействию ионизирующей радиации могут характеризоваться различным уровнем активации систем адаптации к стрессовым факторам окружающей среды в зависимости от мощности ее дозы. Отсюда, попытка поиска адаптационных механизмов в растениях, облучаемых в течение почти 40-50 и более лет, представляет определенный научный интерес. Более того, для проведения оценки дозовой нагрузки растений способствует тот факт, что эти растительные организмы практически "прилипли" уже к местам своего обитания.

Растения, особенно их семена – интересный и более подходящий объект для радиобиоэкологических исследований. Накопление радионуклидов растениями, происходящее, в основном, за счет водорастворимой и обменной форм компонентов загрязнения, отражает весьма сложные переходные процессы в почве. Скорость и направленность этих процессов определяется биологической активностью всех компонентов корнеобитаемого слоя, в т.ч. особенностями корневой системы растений.

Семена растений, являются удобными объектами при изучении влияния ионизирующих излучений на живые организмы. Семена в фазе покоя являются независимым материалом от колебаний случайных сопутствующих факторов и в силу этого считаются удобной экспериментальной моделью для изучения ее сравнительной радиорезистентности [24,36]. В покоящихся семенах накопленные изменения находятся в скрытом виде, не взаимодействуют между собой и проявляются лишь при прорастании. По этой причине семена растений стали одним из основных объектов эколого-биологических исследований растительного покрова на территории бывшего СИП.

Результаты исследований по изучению характера накопления радионуклидов в растениях, произрастающих на участках с различными уровнями радиоактивного загрязнения, показали, что существуют межвидовые и внутри видовые отличия в степени накопления радионуклидов в различных частях растений (2-5 кратные различия). Более высокой степенью накопления радионуклидов характеризуется корневая система по сравнению с надземной частью растения в целом, как у луговых, так и у злаковых культур.

Всестороннее изучение влияния уровня радиоактивного загрязнения, среды обитания растений является необходимым условием для исследования вопроса об отдаленных последствиях воздействия ионизирующих излучений на их природные популяции. В этом направлении обобщающие результаты научных работ по изучению действия повышенного естественного и

искусственного фона ионизирующей радиации на популяции растений и животных даны в работе академика Н.П. Дубинина и соавторов [10].

Другие исследователи обнаружили повышенную радиоустойчивость многолетнего растения *Andropogon jilijolius*, растущего на почвах, богатых ураном, по сравнению с аналогично растущим на обычных почвах [11].

Л.В. Черезанова, Р.М.Алексахин, В.А. Кальченко и др. на искусственно загрязненном радионуклидами (^{90}Sr и ^{90}J) участке изучали влияние хронического облучения на природные популяции дикорастущих травянистых растений и отметили повышение числа клеток с абберациями хромосом в проростках семян, собранных с опытных участков, по сравнению с контролем. При дополнительном остром γ - облучении семян опытных растений была обнаружена повышенная радиоустойчивость этих растений по сравнению с контролем. Делается вывод о радиоадаптации хронически облучаемых растений [12,13].

2.2 Распределение и миграция радионуклидов в почвенно-растительном покрове

Проблема миграции естественных радионуклидов в окружающей среде и действие природного фона ионизирующих излучений на живые организмы остается одной из центральных в современной радиологии. Развиваются концепции, согласно которым природный (естественный) радиационный фон является причиной отрицательных сдвигов в популяции живых организмов (первую очередь как следствие радиационного канцерогена, сокращения продолжительности жизни под влиянием облучения и т. п.). Эта точка зрения, которая многим ее разделяющими исследователями рассматривается как консервативная, положена в настоящее время в основу нормирования радиационного воздействия на человека и учитывается практически во всех международных и национальных нормативах. Как известно, на этой концепции базируются основные положения в области радиационной безопасности, развиваемые Международной комиссией по радиологической защите, в частности в ее Публикации № 26, где изложены принципы радиационной защиты при использовании ионизирующих излучений [38]. В настоящее время одной из настоятельных задач признается экспериментальная проверка этой гипотезы.

Известно, что на распределение тяжелых естественных радионуклидов (ТЕРН) по почвенному профилю оказывают влияние физико-химические свойства почв, а также свойства и форма поступления. Протекающие в почве химические процессы (окисления-восстановления, разложения органического вещества, гидролиза минеральных компонентов, осаждения и др.), а также транспорт через корневые системы растений способствуют трансформации состояния радионуклидов. В результате изменяется их распределение в пределах корнеобитаемого слоя, что свою очередь, влияет на доступность ТЕРН для корневых систем растений [21].

Вопросами радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова искусственными радионуклидами занимались многие ученые. Известно, что техногенные радионуклиды, попавшие в биосферу в результате деятельности человека, довольно быстро включаются в биогеохимические циклы миграции и становятся постоянными компонентами химического состава почвы и живого вещества. Система почва-растение является главным резервуаром накопления радионуклидов и каналом передачи их всему живому на земле.

Важным звеном этой системы является почва, т. к. от химических, физических и биологических свойств почв зависит прочность закрепления радионуклидов (сорбция-десорбция) в них и дальнейшая миграционная способность в целом в ландшафте. Связи миграционной способности радионуклидов со свойствами почв посвящены многие работы. Так, отмечено [51, 52, 53, 54, 55], что высокогумусированные почвы прочнее закрепляют поглощенные радионуклиды, нежели почвы с малым содержанием органического вещества. Одним из факторов, регулирующих поглощение радионуклидов почвой, является реакция почвенного раствора.

Значительное влияние на количество поглощенных почвой радионуклидов оказывает содержание обменных катионов и других макрокомпонентов [55, 56, 57]. Рассмотрены вопросы влияния минералогического состава высокодисперсных почвенных фракций на интенсивность поглощения радионуклидов. Так наибольшей поглотительной способностью по отношению к ^{90}Sr обладают глинистые минералы (монтмориллонит, каолинит и др.) Радионуклид ^{137}Cs сорбируется представителями различных групп минералов более полно.

Сорбционные процессы радионуклидов в почвах в значительной мере определяются и механическим составом почвы [58, 59]. В процессе сорбции радионуклидов почвами определенную роль играет содержание в почвах их изотопного носителя и элемента-аналога. Исследованию прочности сорбции радионуклидов посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов [53, 60, 61]. Наблюдаемый ряд уменьшения способности к десорбции радионуклидов из твердой фазы почвы соответствует обратному порядку по прочности закрепления их этими почвами. Выделено несколько форм нахождения радионуклидов в почве – воднорастворимая, обменная и необменная.

Известно, что поглощение растениями загрязнителей происходит очень дифференцированно и избирательно. Размеры поглощения и накопления могут быть очень значительными [62, 63]. Отмечены три пути поступления радионуклидов в растения. Остановимся на одном из них – поступление непосредственно из почвы. Количество радионуклидов, поступающее в растение, в значительной мере зависит от свойств почвы, которые определяют их состояние и прочность их закрепления [51, 58, 64]. Установлена закономерность: накопление радионуклидов повышается с уменьшением в почве ила, физической глины, емкости поглощения, суммы

обменных оснований, органического вещества, минералов групп монтмориллонита и слюд [65]. Большое значение имеет содержание в почве макроаналогов ^{90}Sr и ^{137}Cs – Ca и K, т.е. происходит дискриминация микрокомпонентов [66].

По степени эффективности влияния минералогического состава на поступление радионуклидов в растения выделяют 3 группы минералов. Особое место имеет изучение влияния карбонатов на поглощение радионуклидов растениями. Этот вопрос мало изучен, но для условий аридного климата - это важный момент.

Процессы миграции и накопления техногенных радионуклидов в системе почва-растение, рассмотренные в опубликованной литературе, изучались в условиях влажного гумидного климата. Исследуемая территория находится в зоне аридного климата, а в географическом отношении относится к сухой и пустынной степи, что предопределяет свои особенности накопления и распределения радионуклидов в системе почва-растение.

Как было указано выше авторы отмечают три пути поступления радионуклидов в растения. Листовое усвоение, т.е. усвоение оседающих из атмосферы радионуклидов непосредственно через листья; усвоение из поверхностной корневой дернины, что характерно для пастбищных луговых трав, и усвоение непосредственно из почвы. Загрязнение через листовую поверхность зависит от морфологических особенностей растений, т.е. чем больше листовая поверхность, тем выше может быть загрязненность и от конкретных условий местообитания растения. Усвоение радионуклидов из корневой дернины характерно, прежде всего, для многолетних трав. Дернина служит двойным "резервуаром" радионуклидов, которые обычно легко доступны отрастающей зеленой массе трав.

Оценка дозовой нагрузки на население, создающейся в результате поступления радионуклидов с пищей, осуществляется с помощью математических моделей. Необходимыми входными параметрами последних являются коэффициенты перехода, характеризующие отдельные звенья пищевой цепочки.

Сточки зрения вклада в возможную радиационную нагрузку населения вследствие потребления пищи растительного и животного происхождения особое внимание заслуживают радиостронций и радиоцезий. Оба элемента характеризуются длительными периодами полураспада, являются химическими аналогами важных биогенных элементов Ca и K. Стронций - 90 представляет собой опасность в связи с его накоплением в скелете животных и человека, а цезий - 137 в мышечной ткани.

Нами рассмотрена интересная работа по определению коэффициентов перехода для цезия и стронция в системах почва- растение и растение -животное. Для характеристики почвы pH KCL. гумус (по Тюрину, %). общая емкость поглощения (ХТ, мг - экв/ 100 г почвы) и степень сорбционной насыщенности (V, %). У собранных растений сем. Злаковых анализировалось спелое зерно, у растений сем. Бобовых - наземную массу во время первого

покоса. Для определения цезия-137 использовался метод полупроводниковой гамма спектрометрии. Коэффициенты перехода (КП) были рассчитаны для стронция и цезия по формуле (1):

$$КП = \frac{P_{рм} (в сухом растении)}{P_{рм} (в сухой почве)} \quad (1)$$

Образцы молока, мяса и фуража отбирали на предприятиях, в районе предполагаемого строительства АЭС - Кецевце.

Полученные применительно к системе почва- растение значения коэффициентов перехода для стронция-90 и цезия-137, которые говорят, что существуют различия в значениях коэффициентов перехода между злаковыми культурами и многолетними кормовыми. Более высокие значения коэффициента перехода получены для вегетативных органов растений. Поглощение ^{137}Cs из почв зависит в значительной степени от гранулометрического состава почв. Так, для легких почв в целом характерны более высокие коэффициенты перехода. Содержание в почвах органического вещества имеет положительную линейную корреляцию со значениями коэффициентов перехода в случае ^{137}Cs . Для почв с высокой емкостью обмена обычны более низкие коэффициенты перехода.

Сравнение накопления радионуклидов растениями показывает, что ^{90}Sr накапливает ими в большей степени, чем ^{137}Cs . Накопление последнего зависит также. Как и в случае ^{90}Sr , от свойств почвы, среди которых следует отметить содержание обменного кальция. Антогониста стронция и емкость обмена почв, чем ниже емкость обмена почв, тем выше коэффициенты перехода.

Значение коэффициента перехода для молока зависит от способа кормления животных. Разница в молочной продуктивности коров не оказывает влияния на значения коэффициентов перехода, хотя ожидалось, что более высокая продуктивность будет совпадать с повышением коэффициентов перехода. Хотя ожидалось, что более высокая продуктивность будет совпадать с повышением коэффициента перехода [23.]

Изучена миграция радиоцезия в системе почва-растение на лесных олиготрофных мезотрофных и автотрофных болотах Белорусского полесья. Стационарные объекты находились на расстоянии 20 км от ЧАЭС и характеризовались запасом ^{137}Cs в 60 см слое почвы в диапазоне 550-1600 кБк/м². Установлено, что скорость вертикальной миграции ^{137}Cs характерна для олиготрофного, минимальная - для автотрофного типа болот. Для автотрофного типа четко выражена зона аккумуляции радионуклидов при переходе из торфяного слоя почвы в минеральный. В гидроморфных почвах радиоцезий более мобилен, с возрастанием глубины торфа доля водорастворимых и обменных форм тоже возрастает от 1-9% (0-5 см слой) до 4-20 % (15-20см слой). Выявлено также, что в лесных болотных экосистемах корневое поступление радионуклидов в древесные растения существенно увеличивается за счет высокой интенсивности миграционных процессов в почве (более чем на порядок по сравнению с суходольными лесами).

Проведено математическое моделирование с использованием двухкомпонентной квазидиффузной и конвективно-диффузионной моделей. Получены численные значения коэффициентов "быстрой" и "медленной" миграции, линейная скорость движения ^{137}Cs под действием потока влаги и коэффициент диффузии. Полученные данные свидетельствуют, что глубина и скорость проникновения радиоцезия в глубь торфяно-болотистых почв значительно превышают эти показатели почв [83].

Поступление ^{90}Sr в растения из почвы прямо пропорционально плотности загрязнения почвы и обратно пропорционально содержанию в почве обменного кальция; накопление ^{90}Sr также находится в прямой зависимости от плотности загрязнения почвы и обратно пропорционально содержанию в почве глинистой фракции, богатой минералами. Отмечается, что глубокая вспашка (35-60 см) позволила снизить внешний фон радиации в 3-5 раз, а поступление в зерновые и кормовые культуры стронция на пахотных землях - в 2-5 раз, а на естественных лугах - в 4-10 раз [84].

Интенсивность поступления химических элементов из почвы в растение зависит в первую очередь от физико-химических свойств элементов, агрохимических параметров почвы, биологических растений и специфики их возделывания. Доказано, что накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственными растениями обратно пропорционально количеству их неизотопных носителей (макроэлементов - аналогов), находящихся в доступной для растений форме.

Предложенный В.М. Ключевским с соавторами комплексный показатель, предназначенный для прогнозирования выноса ^{90}Sr урожаем сельскохозяйственных растений, учитывает концентрацию обменного Са в почве. Установлено также, что накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs непосредственно связано с потребностью растений в Са и К. Чем выше концентрация макроэлемента - аналога в растении, тем выше его кальциефильность или калиефильность, тем выше в нем концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs . [29]

Считается, что поступление ^{137}Cs в растения из почвы через корневые системы в среднем составляет не более 10% от усвоения другого важнейшего долгоживущего радиоактивного продукта деления - ^{90}Sr [63]. Однако в последние годы отмечено, что в некоторых районах, характеризующихся своеобразными почвенно-биогеохимическими условиями, поглощение ^{137}Cs растениями из почвы не только не уступает, но в ряде случаев превосходит накопление ^{90}Sr [33].

Поступление ^{137}Cs в растения происходит значительно интенсивнее на супесчаных и песчаных почвах. Чем на почвах тяжелого механического состава. Концентрация ^{137}Cs в зерне овса в вегетационных опытах на легких суглинках была в 10 раз выше. Чем на тяжелых суглинках, что связано с более прочной сорбцией радионуклида в илистых фракциях почвы. Внесение илистых частиц в количестве 3% от веса песка снижало переход ^{137}Cs в растения в 9 раз. Механические фракции, выделенные из разных почв, оказывают неодинаковое влияние на поступление ^{137}Cs в растения. Фракции ила из чернозема более сильно снижают поступление ^{137}Cs в растения по

сравнению с фракциями дерново-подзолистой почвы, что можно объяснить, в частности, различным минеральным составом этих фракций. При оценке накопления в растениях ^{137}Cs из состава глобальных выпадений отмечено, что наибольшая концентрация ^{137}Cs в растениях наблюдается в почвах дерново-подзолистого типа и красноземах легкого механического состава, обладающих малой емкостью поглощения и бедных К [33]. Внесение калийных удобрений в почву может вызвать увеличение накопления ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных растений [37,31].

Изучение закономерностей миграции продуктов ядерного деления в звене почва- растение проводится с целью оценки ожидаемых уровней загрязнения урожая сельскохозяйственных культур и разработки мероприятий по снижению поступления радиоактивных веществ в продукцию растениеводства. Механизм поступления радиостронция в клубни картофеля к настоящему времени изучен недостаточен. Существует две гипотезы о механизме поступления радиостронция в клубни картофеля. Ряд авторов считают, что загрязнение клубней картофеля радиоактивным ^{89}Sr происходит в результате оттока его из вегетативной массы вместе с нисходящим током продуктов фотосинтеза [66, 67] - метаболический путь загрязнения клубней. Другие авторы [68, 69] считают, что в основе накопления радиостронция клубнями картофеля

лежит не метаболический, а физический процесс-диффузия радиостронция при непосредственном соприкосновении клубней с загрязненной почвой. Исследования проводили в течение 4 лет в среднетаежной, южно-таежной, лесостепной и степной зонах. При продвижении с севера на юг от подзолистых и дерново-подзолистых почв среднетаежной и южно-таежной зон до черноземов лесостепной и степной зон соотношение $^{89}\text{Sr}/\text{Ca}$ в клубнях не только не снижается, но закономерно увеличивается по сравнению с соотношением $^{89}\text{Sr}/\text{Ca}$ и в почвах, и в ботве картофеля. Так, соотношение $^{89}\text{Sr}/\text{Ca}$ в клубнях картофеля на подзолистой и дерново-подзолистых - почвах в среднем в 1,3 раза, на серых лесных - в 1,8 раза и на черноземах в 2,3 раза выше, чем в почвах, и соответственно в 2,5, 3,4 и 4,1 раза выше, чем, соотношение этих элементов в ботве картофеля количество накапливаемого Са в 27-103 раза больше, чем в клубнях. Поэтому вполне логично предположить, что если в клубни вместе с водой поступает Са больше, чем это необходимо для нормального функционирования клеток клубня, то часть Са перераспределяется в вегетативные органы. Накопление же ^{89}Sr в клубнях из чернозема было в 9,1 раза ниже, чем из подзолистой почвы. Такое снижение накопления ^{89}Sr в клубнях из чернозема можно объяснить только снижением нормированного по Са содержания ^{89}Sr в почве, т.е. для клубней картофеля, как и для ботвы и других культур [70] нормированное по Са содержания ^{90}Sr в почве является фактором, в значительной степени определяющим уровни их загрязнения. Этот факт также указывает на то, что механизм поступления ^{89}Sr в клубни принципиально не отличается от механизма поступления нуклида в ботву, что

позволяет говорить метаболическом, независимом от ботвы поступлении ^{89}Sr в клубни. [65] .

Рассмотрение перехода техногенных радионуклидов из почвы в растения подчинено главному принципу – особенностям ландшафта, что предопределяет распространение различных типов и подтипов почв, условия местообитания растений и их видовой состав.

Количество радионуклидов, поступающих в растения, в значительной мере определяется свойствами почвы, обуславливающими их поглощение и закрепление. Как уже было сказано, свойства почвы являются одним из основных факторов, определяющих состояние радионуклидов в почвах, и играют решающую роль в сорбции радионуклидов, тем самым регулируя поступление их в растения.

Существенная роль в перераспределении радионуклидов в почве наряду с надземной частью принадлежит и корневой системе растений. Корни растений кроме снабжения надземной части растений радионуклидами сами выступают своего рода "резервуарами", где происходит накопление вовлекаемых в биологический круговорот радионуклидов. Из корней высвобождение радионуклидов идет за счет прижизненного "корнеопада" и за счет разложения после прекращения периода вегетации. Таким образом, корни выступают в качестве поставщика легкодоступных для растений форм радионуклидов.

На поглощение радионуклидов из почвы растениями значительное влияние оказывает их видовой состав и биологическая продуктивность, а также особенности зольного питания и характер распределения корневой системы.

Изучение процессов миграции в почвенно-растительном покрове осуществлялось, в основном, на испытательных площадках "Дегелен" и "Балапан". Для определения биогеохимических параметров техногенных радионуклидов в системе почва-растение на выбранной площадке одновременно отбирались образцы почвы из разных горизонтов, корней и надземных частей доминантных растений.

2.3 Физиологические и цитогенетические механизмы адаптации растений к техногенным условиям природной среды

Анализ состояния изученности проблемы.

Данные по радиочувствительности растений показывают, что более молодые в филогенетическом ряду формы устойчивее к ионизирующим излучениям, чем эволюционно более старые формы. Это свидетельствует о выработке у растений механизмов адаптации к ионизирующим излучениям в процессе эволюции[72].

Для решения вопросов о влиянии малых доз ионизирующих излучений первостепенное значение имеют экспериментальные работы на природных зонах с повышенным радиационным фоном. Преимущества этих исследований, внимание к которым существенно возросло в последние годы,

(о чем, в частности, свидетельствуют регулярно проводимые крупные международные конференции, посвященные анализу результатов биологических и экологических работ в регионах повышенной природной радиоактивности), состоит в том, что объектами наблюдения являются, как правило, популяции большого количества видов растений и животных, подвергающихся облучению в течение всего жизненного цикла в широком интервале доз. В этом случае не возникает проблемы экстраполяции данных на натурные условия [21].

Обзор литературы показывает, что в районах с повышенным уровнем ионизирующих излучений, сформированным выходом радиоактивных элементов на поверхность земли имеет место повышение генетического груза, наблюдаемого в хронически облучаемых популяциях растений. Изучение мутационного процесса в хронически облучаемых природных популяциях растений связано с целым рядом очевидных трудностей. Это, прежде всего, модифицируемость мутагенного действия радиационного фактора под влиянием экологических условий, таких, как изменчивость температурного режима, влажности, эдафическое разнообразие, а также разнообразие микроэкологических условий обитания. Все эти факторы неизбежно будут влиять на выход генетических изменений у организмов, обитающих в загрязненной природной среде. Кроме того, на выход индуцированных ионизирующими излучениями мутации влияют генотипические различия организмов, которые обязательно будут иметь место как внутри популяции, так и между популяциями. Далее, вновь возникающие наследственные изменения в природных условиях будут подвергаться естественному отбору. В конечном итоге должно наступить равновесие между мутагенным давлением ионизирующего излучения и давлением естественного отбора. Поэтому вопросы динамики мутационного процесса и становления равновесия между давлением мутаций и давлением отбора составляют одну из первоочередных задач как радиоэкологии в целом, так и радиоэкологии растений в частности.

Радиобиологией накоплено большое количество фактов, позволяющих предсказывать эффект облучения разных видов организмов. Но этой информации далеко не достаточно для предсказания реакций отдельных видов организмов и биоты в целом на облучение в конкретных природных условиях, где ответ на действие ионизирующих излучений в сочетании с другими экологическими факторами часто оказывается иным, чем при облучении в искусственных условиях лабораторного эксперимента. Механизмы радиочувствительности неспецифичны и физиолого-биохимические приспособления вида к условиям стрессовых нагрузок могут существенно изменить ее уровень. Несмотря на большие количества работ, рассматривающих зависимость радиочувствительности от морфогенетических и физиолого-биохимических свойств организма, изменения радиочувствительности вследствие приспособления организмов к экологическим нерадиационным условиям, остаются, малоизученными. [73]

При изучении реакций растений на условия внешней среды большое значение придавали установлению достаточно значимых показателей, по которым можно было бы оценить эффективность воздействия. В настоящее время высказано мнение, что самым простым, надежным и наиболее интегральным показателем, достаточно полно характеризующим рост и развитие растительного организма, следует считать продуктивность растений [20]. Исследователи использовали урожай зеленой массы как показатель, который характеризовал общий продукционный процесс растений и показывал бы величину сельскохозяйственной продукции. [22,23,36,41]

Для многолетних поликарпических видов другим не менее важным критерием жизнеспособности растений являются показатели воспроизводства и репродуктивного размножения растений. У многолетних растений за единицу учета семенной продуктивности принято считать генеративный побег.

Таким образом, накопление радионуклидов растениями определяется не только их количеством в почве, но и особенностями растительного организма, типом корневой системы, степенью ее развития и глубиной проникновения в почву.

Исследования по биологической оценке последствий хронического воздействия ионизирующих излучений на растительные объекты проводились Институтом цитологии, и генетики СО РАН на территории Алтайского края в зоне влияния СИП и в пределах 30-километровой зоны ЧАЭС Институтом биологии Коми научного центра УрО РАН и Институтом клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины. Результаты исследований этих и других учреждений подтверждают, что практически все биологические эффекты на уровне многолетнего организма вызваны действием излучения на верхушечную меристему растений.

Известно, что при холодовом стрессе у растений наблюдается увеличение активности пероксидазы, как и содержания низкомолекулярных антиоксидантов, в качестве одного из механизмов адаптации растений к холоду. Поскольку образование свободных радикалов и перекисей происходит при действии других стрессовых факторов (в том числе и ионизирующей радиации), то холодадаптация растений, за счет активации пероксидазы, приводит и повышению их радиоустойчивости в диапазоне доз, в котором радиационные поражения определяются вторичными радиотоксинами, а не прямым действием радиации на хроматин. Поэтому якутские экоформы растений обладают более высоким значением D_q по сравнению с видами, сформировавшимися на Среднем Урале [73].

Проростки семян растений, сформировавшихся в Центральной и Южной Якутии, обладают повышенной белоксинтезирующей активностью по сравнению с проростками семян, собранных на Урале, хотя количество белка в них достоверно не увеличено [12].

Адаптивные изменения ферментов противорадикальной и противопероксидаальной защиты растений к нерадиационным стрессовым

факторам среды дифференцированы. При действии экстремальных экологических раздражителей (резкие колебания температуры и влажности) повышается активность пероксидазы. Поскольку основным вторичным стрессовым химическим фактором является перекись водорода. При этом активность супероксиддисмутазы, как правило, снижается, так как избыток супероксидрадикалов окисляет непредельные жирные кислоты липидов мембран, а образующиеся органические перекиси инактивируются пероксидазой. Потребность в активной СОД при наличии активированной пероксидазы в этих случаях снижается. [73].

Под влиянием облучения изменялось потребление растениями элементов минерального питания. Содержание общего N в стеблях и листьях возрастало, а в плодах – уменьшалось. Содержание P в стеблях возрастало, но снижалось в листьях и плодах. Содержание K возрастало во всех органах растения. В итоге для получения 1 т плодов под влиянием радиации требовалось больше K, но потребление N и P уменьшалось [13].

Показано, что в семенах большинства исследованных сортов злаков, сформировавшихся в условиях радионуклидной аномалии, индуцируется накопление фенольных соединений с измененным качественным составом [75].

При больших мощностях экспозиционной дозы хронического облучения наблюдается резкое снижение митотической активности корневых меристем, по-видимому, связано с накоплением повреждений хромосомного материала и невозможностью их быстрой и полной репарации.

Сама активизация клеточного деления, видимо, является следствием активных репарационных процессов, протекающих в хронически облучаемых клетках. На возможность подобной интерпретации клеточных делений указывает целый ряд авторов [76, 77, 78].

Проведенный учет числа погибающих от лучевого поражения проростков подтвердил факт резкого радиочувствительности семян, сформировавшихся в условиях питомника. Подводя итог проведенным исследованиям, можно высказать следующее предложение. Длительное произрастание в течение нескольких поколений горошка мышинного на территории, имитирующей уранорадиевое загрязнение, привело к формированию в этих условиях своеобразного экотипа в популяции этого вида. Последующее экологическое испытание такого экотипа в условиях питомника позволило установить, что отдельные из признаков, присущих растениям данного экотипа, проявляются и в новых условиях произрастания. К ним относятся, например, более высокий показатель количества твердых семян, пониженная по сравнению с контролем сила роста семян, меньший выход числа бобов со стерильными семяпочками [79].

Лучевая болезнь растения заключается, в подавлении роста меристематических тканей вследствие чего является накопление ассимилятов, перекисей и других продуктов[37]. Это благоприятствует увеличению количества иноктиваторов, клетка мобилизуется на

преодоление вредных влияний радиации. Позднее при сравнительно небольших дозах эти процессы приходят в норму. Для выяснения природы биологического действия ионизирующей радиации большое значение имеет исследование первоначальных сдвигов и изменений, происходящих в растительном организме, так как именно они определяют последующую биологическую реакцию в ответ на облучение. Следует подчеркнуть, что большинство опытов проводились с большими дозами, вызывающими отмирание тканей, при исследовании одного – двух показателей. Это мешало четко определить непосредственное действие радиации на обмен и нарушения, вызванные гибелью клеток. Если рассмотреть во времени порядок радиобиологических эффектов, то нетрудно заметить, что раньше других наблюдается изменение именно физико-химических свойств протоплазмы.

Опыты показывают, что уже через 15 минут после облучения вязкость протоплазмы значительно уменьшается. Спустя час наблюдается возрастание вязкости, которая через 24 часа после ряда уменьшающихся колебаний возвращается к норме.

Наряду с вязкостью изучалось и изменение проницаемости протоплазмы под влиянием облучения. Было установлено, что через 15 минут после облучения наблюдается уменьшение поглощения и усиление фосфат ионов [76]. Эти процессы нормализуются спустя 4-6 часов. Несколько позднее зафиксировано изменение темпов дыхания.

Пробы почв и растений для количественного определения содержания в них радионуклидов были взяты на опытных площадках в районе Чернобыльской АЭС в период с 20 июля по 10 августа 1986 г.

Для всех растений, несмотря на место сбора проб, корневое поступление ^{90}Sr , ^{137}Cs , является преобладающим. Кроме того, поступление ^{137}Cs из почвенного компартмента преобладает над поглощением растениями ^{90}Sr .

Максимальный расчетный процент вовлечения ^{137}Cs из почвы (0,4%) характерен для растений с площадки на разнотравно-мятликовом лугу и для трав, собранных в сосновом лесу. Для ^{90}Sr (0,1%) – на трех площадках мятликового луга. Разброс величин процента вовлечения больше для ^{137}Cs , чем для ^{90}Sr .

Данный подход, позволяющий оценить поступление компартмента радионуклидов того или иного компартмента в растения – это сравнения их содержания в различных частях веточного прироста. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в верхней части веточного прироста древесных растений в три-четыре раза меньше, чем у основания. Учитывая, что спустя три месяца после аварии на Чернобыльской АЭС преобладающий путь поступлений – корневой, можно предположить, что содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в верхней части веточного прироста соответствует их поступлению из почвы.

Интенсивность вовлечения радионуклидов из почвы в растения зависит от многих факторов и прежде всего от биологических особенностей

растений, а также от характера миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове [27].

Работы по изучению влияния облучения на дыхание показали. Что дыхание довольно радиостойкий процесс. Но при действии малых доз наблюдается повышение интенсивности дыхания. Это скоро переходящее явление связано с кратковременным повышением окислительно-восстановительного потенциала и ускорение движения протоплазмы. Исходя из литературных данных можно сделать вывод. Что небольшие дозы радиации усиливают дыхание, а большие угнетают. Опыты с семидневыми проростками озимой яровой пшеницы и ячменя при облучении разными дозами, показали следующую зависимость. Если малые дозы (100 p) стимулируют дыхание ярового ячменя, то высокие дозы (1000 p) вызывают тормозящее действие. Изменение темпов дыхания фиксируется уже через 30 минут.

Для проростков озимой пшеницы наблюдается обратная картина. У проростков фасоли характер кривых при облучении разными дозами (100 и 100 p) один и тот же. Но уровень дыхания проростков, облученных 1000p, значительно ниже. Если сопоставить динамику изменения вязкости протоплазмы и дыхания, то нетрудно заметить. Что уменьшение вязкости влечет за собой усиление дыхания.

Изучение мутагенных эффектов в хронически облучающихся природных популяциях, как правило, ведется на фоне взаимодействия радиационной природы.

Исследовали морфофизиологические показатели семян (масса 1000 зерен, всхожесть), выживаемость и высоту проростков семян на стадии 3-5 листьев. Учитывали частоту хромосомных aberrаций в ана-телофазных клетках корешков прорастающих семян. Часть собранных семян высевали в фотостате в ящики с почвой, проростки исследовали на частоту проявления хлорофильных мутаций типа *aldiha* и *xantina* [81]. Полученные результаты обрабатывали стандартными методами математической статистики [82]. Анализируя полученные материалы о мутабельности семян овсяницы луговой, в течение нескольких вегетаций подвергающейся хроническому g-облучения, поскольку это явление находится в соответствии с общеизвестными представлениями о повреждающем действии радиации на хромосомный аппарат [83].

С 1997 года начаты научно-исследовательские работы по оценке радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова и организации цитогенетического мониторинга доминантных видов растений. Исследования проводятся на участках площадки Балапан и Дегелен с разными уровнями радиоактивного загрязнения. Предварительные результаты этих работ свидетельствуют о необходимости продолжения подобных исследований на различных участках территории СИП для получения биологической оценки последствий хронического воздействия ионизирующих излучений на природные популяции растений.

3 ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СИП

3.1 Состояние фитоценоза и состав флоры горного массива «Дегелен» СИП

Важным компонентом природно-климатического комплекса является естественная растительность. Естественные растительные ресурсы по своим видам и особенностям весьма разнообразны и на территории горного массива можно встретить растительность, характерную для других подзон и подразделить их на несколько типов.

По ботанико-географическому районированию [3, 5] эта территория относится к подзоне сухих типчаково-ковыльных степей. Однако горный массив Дегелен несколько нарушает картину зонального распределения растительности. В пределах горного массива Дегелен выделяют следующие пояса (вертикальная поясность):

- пояс горных луговых и разнотравно-ковыльных степей;
- пояс кустарников.

Ценотический состав растительного покрова отличается также большим разнообразием. Там, где развит горный рельеф, проявляется вертикальная зональность, растительный покров характеризуется определенным составом, где доминируют петрофитные варианты восточной ориентации.

Это - вероника - *Veronica*

- гвоздика жесткая - *Dianthus rigidus*

- лапчатка бесстебельная - *Potentilla acaulis*

Предгорье на большей части массива занято скоплением таких сообществ как караганово-типчаково-тырсовые, караганово-холоднополынно-тырсовые, овсецово-тырсовые, холоднополынно-овсецовые сообщества. В основном это петрофитные виды сухих дерновинно-злаковых степей, где преобладают

- карагана низкорослая - *Caragana pumila*;
- типчак - *Festuca*;
- полынь холодная - *Artemisia frigida*.

Растительность Дегеленского горного массива представляет особый эколого-географический интерес как растительность островных скалистых гор, сложенных гранитами, гранитоидами и грандиоритами, подвергавшихся радиоактивному облучению антропогенного происхождения в течение многих лет. Одиночные массивы высоких мелкосопочников сильно каменисты, отличаются крутыми склонами, часто прорезанными глубокими каньонами. По шлейфам низкогорий формируются полынно-дерновиннозлаковые (*Stipa capillata*, *Festuca Valesiaca*, *Artemisia frigida*, *A. obtusiloba*) ценозы с участием *Spiraea hypericifolia*, *Sedum*. На гранитах разряженные сообщества петрофитов сложены многими видами кустарников (*Spiraea trilobata*, *Juniperus sabina*, *Berberis sibirica*, *Zonicera microphylla*), полыней (*Artemisia frigida*, *Artemisia marschaliana*, *A. obtusiloba*), разнотравья (*Dianthus rigidus*, *Orostachus spinosa*, *Sedum hybridum*, *Veronica pinnoba*, *Veronica incana*, *Onosma tectorum*) и дерновинных злаков (*Helictotrichon desertorum*, *Festuca Valesiaca*, *Stipa capillata*).

В нижних частях склонов низкогорий характерными являются можжевельниковые (*Juniperus sabina*) сообщества. В этих местах им сопутствуют такие виды как *Zonicera microphylla*, *Berberis sibirica*, *Veronica spuria*, *Onosma simplicissima*, *Orostachus spinosa*, *Helictotrichon desertorum*.

Мелкоземистые участки склонов северной и северо-восточной экспозиции заняты кустарниково-ковыльно-овсецовыми (*Helictotrichon desertorum*, *Stipa capillata*, *Spiraea trilobata*) ценозами. В трещинах между скалами часто встречаются волоснецово-кустарниковые (*Caragana pumila*, *Spiraea trilobata*, *S. hypericifolia*, *Elymus angustus*) сообщества.

В верхней части склонов на площадке между выходами пород распространены многочисленные разреженные серийные сообщества, сложенные петрофитным разнотравьем (*Sedum hybridum*, *Veronica*, *Orostachus spinosa*) и кустарниками (*Juniperus sabina*, *Cotoneaster oliganthus*, *Rosa spinosissima*, *Spiraea trilobata*). На выложенных участках склонов северной и северо-восточной экспозиции в трещинах между скалами нами отмечены кустарниково-березовые (*Betula pendula*, *Lonicera microphylla*, *Spiraea hypericifolia*, *Spiraea trilobata*, *Caragana pumila*, *Cotoneaster oliganthus*) ценозы. Каменистые вершины низкогорий высшими растениями не освоены. Сложное строение поверхности этой территории вызывает пестроту, неоднородность и разнообразие типов растительного покрова. В полосе опустыненных полынно-ковыльных степей на светлокаштановых почвах господствуют сообщества тырсиковой (*Stipa sareptana*) и холоднополынной (*Artemisia frigida*) формаций с участием *Caragana pumila*, формирующиеся в комплексе с камфоросмовыми (*Comphorosma monspeliense*), кокпековыми (*Atriplex canescens*), чернополынными (*Artemisia pauciflora*) и биюргуновыми (*Anabasis salsa*) ценозами на солонцах. По межсопочным понижениям и

окраинам озер развиваются сообщества солонцово-солончакового типа: чиевые (*Achatherum spendens*), ломкоколосниковые (*Psathyrostachys juneca*), чингиловые (*Helimodendron halodendron*), селитрянковые (*Nitraria sibirica*), сарсазановые (*Halocnenum strob.*), поташниковые (*Kalidium foliatum*) и др.

Плакорные или близкие к ним типы опустыненных степей на светлокаштановых суглинистых почвах на территории Дегелена занимают незначительную площадь. К ним относятся тонковатополынно-типчаково-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Festuca Valesiaca*, *Artemisia*) степи, формирующиеся с тонковато-полынными сообществами на солонцах. Такие участки отмечены с наружной стороны горного массива южной и западной сторон.

Наиболее широко распространены холоднополынно-типчаковые, караганово-холоднополынно-тырсиковые и петрофитноразнотравно (*Ajanía friculosa*, *Ancathia igniaria*) холоднополынные (с участием *Caragana pumila*) сообщества с вкраплениями камфоросмовых (*Comphorosma monspel*), биюргуновых (*Anabasis salsa*), кокпековых (*Atriplex сапа*), чернополынных (*Artemisia pauciflora*) на солонцах. Комплексные степи сочетаются с сообществами солонцово-солончакового типа по межсопочным понижениям и окраинам озер, сложенными (*Achatherum spendens*, *Psathyrostachys juneca*, *Halimodendron*). На солончаках типичны селитрянковые (*Nitraria sibirica*), сарсазановые (*Halocnenum strobil*), поташниковые (*Kalidium foliatum*) ценозы [2, 6].

В долине Узунбулак вдоль ручьев формируются тростниково-разнотравноосоковые (*Carex Vesicaria*, *Chomaenerium angustifolium*, *Plantago cornuthi*, *Filipendula ulmaria*) и тростниково-осоковые сообщества на лугово-болотных почвах участков низкого уровня поймы, злаково-разнотравно и злаково-осоково-разнотравное (*Calatella biflora*, *Sanguisorba officinalis*, *Zathyus pratensis*, *Carex melanostachya*, *Carex Vesicaria*) ценозы на луговых почвах участков среднего уровня, а ивовые (*Salix sinerca*, *Salix pseudopentandra*) с участием кустарников (*Rosa osilula*) и разнотравно-злаковыми (*Phragmites australis*, *Poa angusbifolia*, *Vicia cracca*, *Filipendula ulmaria*, *Rumex*) ценозами и травянистым покровом на лесолуговых почвах участков высокого уровня. Для луговых солончаковых и солонцеватых почв, характерны бескильничевые (*Puccinella dolicholepis*), ажрековые (*Acluropus lit*), волоснецовые (*Elumus angustus*) и чиевые (*Achatherum splen*) ценозы, формирующиеся в комплексе с полынными (*Artemisia nitroso*) сообществами.

Таким образом, в горном массиве Дегелен представлены следующие типы растительности: степной, луговой, лесной, кустарниковой и пустынной. Особенностью растительности массива Дегелен является также наличие фрагментов лесных рядов (березовых, осиново-березовых, тополево-осиновых), приуроченных к узким долинам. Фрагменты березовых и осиновых лесов отмечены высоко на склонах тенистых ущелий, а березово-ивовые и ивовые с участием тополя характерны для долин с выходами родников.

Шиповниково-ивовые и черемухово-шиповниковые с участием боярышника, а также ивовые рощи встречаются в долинах ручьев, как выпадающих в Узунбулак, так и в перефирических.

Разнообразие ценотического состава растительного покрова горного массива Дегелен связано со значительной дифференциацией экологических условий произрастания растительности.

В результате проведенного обследования было отмечено, что для растительного покрова территории в районе штолен № 176 и № 177, как и для низкогорного массива Дегелен в целом, характерна высотная поясная смена растительности. Основными типами выделены луговая и степная растительность, на отдельных участках – кустарниковая, в местах развитого горного рельефа представлены петрофитные варианты. Продуктивность растительного покрова обусловлена местоположением участка в рельефе и изменяется для территории с луговой и кустарниковой растительностью от 2 до 5 ц/га, для склонов со степной растительностью – от 0,2 до 1 ц/га.

Основная биомасса исследуемых экосистем сосредоточена в поймах водотоков штолен, где за счет дополнительного увлажнения во всем многообразии представлена луговая растительность (иван-чай (*Chamaenerium angustifolium*), бодяк (*Cirsium arvense*), пижма (*Tanacetum vulgare*), вейник (*Calamagrostis arundinacea*), крапива (*Urtica dioica*), вероника (*Veronica spuria*), мята (*Mentha interrupta*), щавель (*Rumex confertus*), герань (*Geranium collinum*), кровохлебка (*Sanguisorba officinalis*), живокость (*Delphinium dictyocarpum*) и др.). Проективное покрытие растительного покрова поймы достигает 90 %, продуктивность составляет 3-5 ц/га.

Вдоль русел водотоков произрастают кустарниковые заросли с участием шиповника (*Rosa spinosissima*) и таволги (*Spiraea trilobata*, *S. hypericifolia*), в местах максимального увлажнения распространены заросли тростника (*Phragmites australis*), в районе штольни № 177 – ивы (*Salix triandra*, *S. viminalis*).

Растительный покров подгорной равнины представлен остепненными луговыми ценозами (волоснец (*Leymus angustus*), люцерна (*Medicago falcata*), подорожник (*Plantago cornuti*), тысячелистник (*Achillea asiatica*), лапчатка (*Potentilla bifurca*, *P. dealbata*), додарция (*Dodartia orientalis*), синеголовник (*Eryngium planum*), солонечник (*Galatella biflora*), василек (*Centaurea ruthenica*) и др.). Проективное покрытие варьирует от 50 до 70 %, продуктивность – 2-3 ц/га.

На повышениях и пологих шлейфах сопок распространены степные ценозы (типчак (*Festuca valesiaca*), ковыль (*Stipa capillata*, *S. lessingiana*), эфедра (*Ephedra distachya*), осока (*Carex supina*), подмаренник (*Galium boreale*), зопник (*Phlomis agraria*), гвоздика (*Dianthus elatus*) солонечник (*Galatella angustissima*)). В сложении растительности склонов участвуют и петрофитные группировки (таволга (*Spiraea trilobata*), карагана (*Caragana pumila*), очиток (*Sedum hybridum*), горноколосник (*Orostachys spinosa*), жимолость (*Lonicera micrantha*), вероника (*Veronica incana*), зизифора

(*Ziziphora clinopodioides*)). Сомкнутость травостоя колеблется около 30-40 %. Продуктивность не превышает 1 ц/га.

Изменения в растительном покрове отмечаются на припортальных площадках и участках с техногенными навалами – в зоне явного антропогенного вмешательства. Ценотический состав на данной территории представлен единичными растениями (полынь (*Artemisia dracunculus*, *A. marschalliana*), тысячелистник (*Achillea asiatica*), подмаренник (*Galium boreale*), гвоздика (*Dianthus elatus*), зизифора (*Ziziphora clinopodioides*), додарция (*Dodartia orientalis*), льнянка (*Linaria altaica*), таволга (*Spiraea trilobata*), береза (*Betula pendula*), иван-чай (*Chamaenerium angustifolium*), шиповник (*Rosa spinosissima*)) и характеризуется различными стадиями естественного зарастания.

С 1996 г. сотрудниками Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК были проведены исследования по анализу флоры горного массива Дегелен [17]. Анализ флоры опытной площадки Дегелен показывает, что выявлено более 200 видов сосудистых растений. Они относятся к 38 семействам. Эти данные, безусловно, предварительные, и они позволяют охарактеризовать структуру флоры репрезентативного участка горного массива юго-восточной окраины Центрально-Казахстанского мелкосопочника. Репрезентативность участка заключается в том, что для описания и характеристики конкретной флоры достаточна площадь в 100 км. Размеры горного массива Дегелен около 350 км² [17].

В приложении 1 приводятся некоторые виды сосудистых растений горного массива Дегелен. Данный список неполный, флористический состав горного массива Дегелен значительно обширнее флористического состава площадок «Опытное поле» и «Балапан».

При дальнейших исследованиях будут изучен и дополнен флористический список сосудистых растений обследуемого участка.

3.2 Особенности распределения и накопления радионуклидов в почвенно-растительном покрове СИП

На основании данных характеристики растительного покрова объектами для проведения радиоэкологических исследований и в рамках изучения распределения радионуклидов между растениями и почвой в условиях лугового биогеоценоза вдоль водотока в местах радиоактивного загрязнения заложены исследовательские площадки, на которых сопряженно производился отбор проб почвы и определенных видов растений. Выбраны пижма (*Tanacetum vulgare*), волоснец (*Leymus angustus*) и шиповник (*Rosa spinosissima*), – ива (*Salix triandra*, *S. viminalis*)), пижма (*Tanacetum vulgare*), иван-чай (*Chamaenerium angustifolium*) и бодяк (*Cirsium arvense*).

Таблица 4 Диапазоны значений удельной активности и Кн радионуклидов

¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr

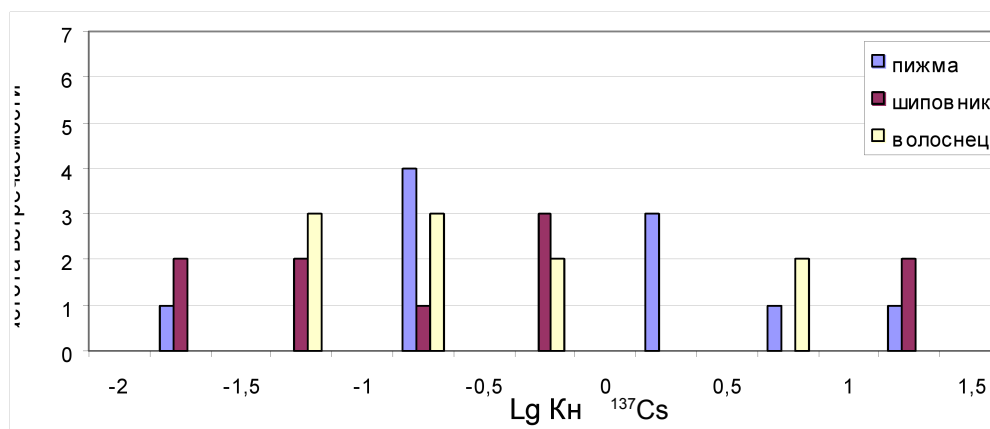
Вид	Диапазон значений удельной активности,	Диапазон значений
-----	--	-------------------

растения	Бк/кг				Кн			
	^{137}Cs		^{90}Sr		^{137}Cs		^{90}Sr	
	min	max	min	max	min	max	min	max
пижма	$(0,12 \pm 0,02) \cdot 10^3$	$(8,7 \pm 0,07) \cdot 10^4$	$(12 \pm 2) \cdot 10^3$	$(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^4$	0,01	16,3	0,7	5,7
шиповник	$(0,028 \pm 0,006) \cdot 10^3$	$(1,2 \pm 0,01) \cdot 10^4$	$(4,4 \pm 0,8) \cdot 10^3$	$(2,7 \pm 0,4) \cdot 10^4$	0,01	13,2	0,4	4,5
волоснец	$(0,032 \pm 0,012) \cdot 10^3$	$(5,4 \pm 0,05) \cdot 10^4$	$(3,9 \pm 0,8) \cdot 10^3$	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^4$	0,1	7,5	0,9	9,5

В таблице 4 представлены диапазоны значений удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах растений, а также диапазоны значений Кн этих радионуклидов соответствующими видами растений.

На основании данных радионуклидного анализа можно сказать, что уровень радиоактивного загрязнения почв выбранных исследовательских площадок варьирует в широком диапазоне. Причем разница в значениях удельной активности для ^{137}Cs гораздо выше, чем для ^{90}Sr .

Несмотря на относительно небольшую площадь исследуемой территории, идентичность климатических условий и типа почвы, а также отбор проб растений по видам диапазон значений Кн радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr варьирует в неожиданно широких пределах. Для радионуклида ^{90}Sr он составляет один порядок, для ^{137}Cs достигает трех. Для более наглядного представления полученных результатов на рисунке построена гистограмма частоты встречаемости Кн (рис.3).



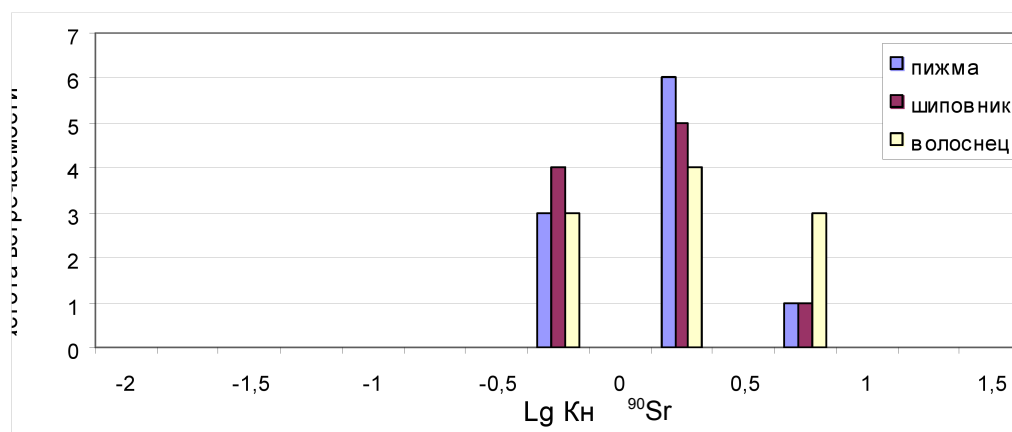


Рисунок 3 Распределение значений Lg Kn радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr

Различия в распределении значений Kn видны как для разных радионуклидов, так и для отдельных видов растений. Так, для волоснеца диапазон значений Kn ^{137}Cs меньше (два порядка), чем для пижмы и шиповника три порядка (рис.3). Средние же значения Kn ^{90}Sr в отличие от ^{137}Cs смещены в сторону больших величин, что подтверждает известный факт, что в большей степени в растениях накапливается именно ^{90}Sr .

Для обоих радионуклидов наиболее часто встречаемые значения Kn ($^{137}\text{Cs} \sim 0,1$; $^{90}\text{Sr} \sim 1,0$) абсолютно не совпадают с вычисленными средними арифметическими значениями Kn ($^{137}\text{Cs} \sim 2,2$; $^{90}\text{Sr} \sim 2,4$), что говорит о некорректности использования средних арифметических значений Kn при оценке такого рода систем.

Таким образом, выявлено, что в условиях лугового биогеоценоза накопление радионуклидов исследуемыми видами растений изменяется в широких пределах. Причем для ^{137}Cs эти различия еще более резко выражены, чем для ^{90}Sr .

Учитывая специфические особенности механизмов перераспределения ^3H в компонентах природной среды, для изучения содержания ^3H в растениях береговой зоны относительно русла был заложен поперечный профиль с отбором проб растений по видовому составу (Приложение А, Рис. 4). Расстояние между точками отбора составляло 10 м. В качестве опытного вида был выбран волоснец (*Leymus angustus*). Всего было отобрано 8 проб растений. Результаты представлены на рисунке 4.

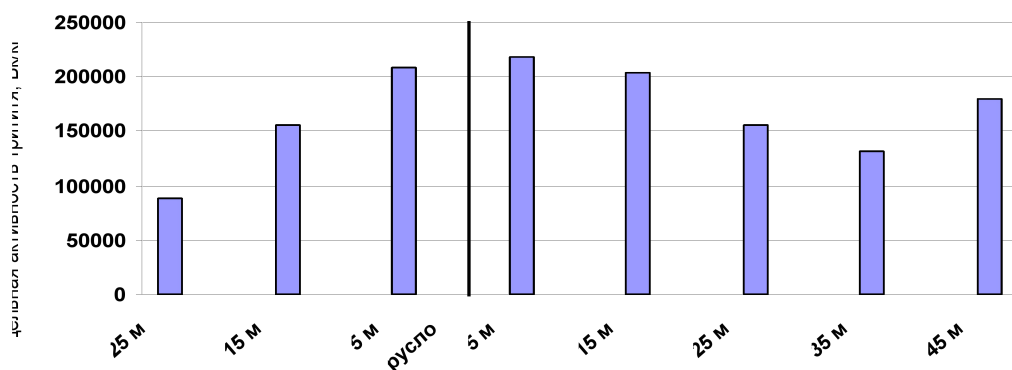


Рисунок 4 Удельная активность ^3H в пробах растений

волоснеца (*Leymus angustus*).

По данным проведенного анализа удельная активность ^3H в отобранных пробах растений достигает $2,2 \cdot 10^5$ Бк/кг. Максимальные значения отмечаются в точках расположенных в 5 м по обеим сторонам от водотока. По мере удаления от русла содержание ^3H в пробах растений закономерно постепенно снижается. Более резкий спад отмечается слева от русла, что в данном случае можно объяснить более значительным повышением в рельефе левого берега относительно правого. Выпадом из общей закономерности является удельная активность ^3H в пробе растений в точке, расположенной в 45 м справа от русла. Причина повышения концентрации ^3H в данной точке пока не выяснена.

Обобщение нового полевого полученного материала позволяет внести коррективы и дополнения в материал натурных обследований этого участка. На основании неполного, на данный момент анализируемого материала можно подтвердить, что почвы данной территории относятся к светло-каштановым, в основном, легкосуглинистым, реже супесчаным разновидностям. Более легкий механический состав поверхностного горизонта отмечается в юго-, юго-западной части исследуемого участка, примыкающей к мелкосопочнику. Мощность гумусового горизонта достигает 20 см, содержание гумуса от 2,0 до 3,0 %. Сумма поглощенных оснований невелика, не превышает – 16 – 18 мг-экв на 100 г почвы, среди обменных катионов преобладает катион Са, на долю которого приходится 80- 90 %. Величина подвижного калия изменяется вниз по профилю от 50 до 16 мг-экв на 100 г почвы. По данным водной вытяжки видно, что сумма легкорастворимых солей в почвенных горизонтах, не превышает 0,6%, следовательно, обследованные почвы относятся, в основном, к незасоленным разновидностям.

Данные γ - спектрометрических и радиохимических анализов проб почвы, отобранных по генетическим горизонтам, дают картину распределения техногенных радионуклидов по всему почвенному профилю. Максимальная концентрация ^{137}Cs и $^{239/240}\text{Pu}$ отмечается в поверхностной корочке, реже во втором гумусном горизонте, что объясняется незначительной мощностью первого или его легким механическим составом.

Таблица 5 – Распределение техногенных радионуклидов в генетических горизонтах светло-каштановых почв площадки "Балапан"

№ разреза	Индекс горизонта	Горизонт, см	Механический состав	Содержание радионуклидов, Бк/кг		
				^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239/240}\text{Pu}$
Р-6	A ₁	0-4	Супесь	23	15	143
	A ₂	4-15	Супесь	35	104	267
	B	15-50	Супесь	13	2	12,3
Р-7	A ₁	0-4	Супесь	<0.9	3,3	<2
	A ₂	4-16	Супесь	5	<2	10,2

	B ₁	16-38	Супесь	29	5,9	11,3
	B ₂	38-109	Л. суглинок	<0.9	<2	-
P-8	A ₁	0-7	Суглинок	5279	482	455
	A ₂	7-29	Суглинок	1497	1515	247
	B	29-45	Суглинок	10	16	1,71

Наибольшее содержание ^{90}Sr приурочено, в основном, ко второму слою, что связано с его более значительной миграционной способностью. В качестве примера приведено распределение радионуклидов в почвенных профилях разрезов, сложенных различными по механическому составу отложениями (табл.5).

В таблице 5 приведены показатели 3-х почвенных разрезов, расположенных, согласно материалам обследования площадного загрязнения площадки "Балапан", в контурах с различным радиационным загрязнением. Цифры показывают, как распределение радионуклидов в верхней части профиля зависит от механического состава почв. Так, в разрезах 6 (p-6) и 7 (p-7) накопление радионуклидов наблюдается во втором или третьем от поверхности горизонтах, т.е. при наличии легкого механического состава (супесь) заметно перемещение радионуклидов вниз по профилю и их накопление на глубине до 20-40 см. Естественным барьером для них могут служить легкие карбонатные (CO_2 карбонатов составляет 9,61%) суглинки, имеющие плотное сложение (p-7). В разрезе 8 (p-8) в условиях значительного радиоактивного загрязнения и сложения профиля средними суглинками распределение радионуклидов подчиняется вышесказанным закономерностям, т.е. максимум содержания ^{137}Cs и $^{239/240}\text{Pu}$ сосредоточен в верхнем слое, а ^{90}Sr – во втором.

Для оценки распределения ^3H в растительном покрове считая основным источником загрязнения водоток штольни, выходящий из-под навала, вдоль его основного русла и до зоны конечного стока было заложено 4 поперечных профиля и 8 единичных точек (рис.5).

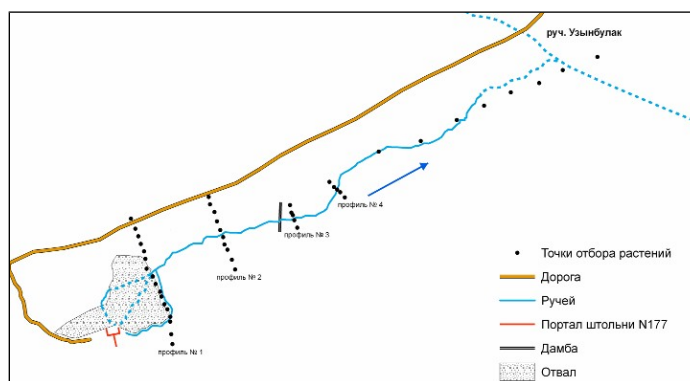


Рисунок 5 Схема расположения точек отбора проб растений

Расстояние между точками в каждом профиле составляло 10 м. Расстояние между I-м, II-м и III-м профилем – по 100 м, между III-м, IV-м и единичными точками дальше по руслу – по 50 м.

Для определения содержания ^3H во всех точках отобраны смешанные пробы растений, представленные в зависимости от характера рельефа и уровня увлажнения каждой точки основными составляющими луговых и степных сообществ, а также степных сообществ с элементами петрофитной растительности (45 проб).

Содержание ^3H определялось в свободной воде растений, выделенной при возгонке (t до 200°C). На гистограмме (рис. 6) представлено распределение значений удельной активности ^3H в растительности по поперечным профилям.

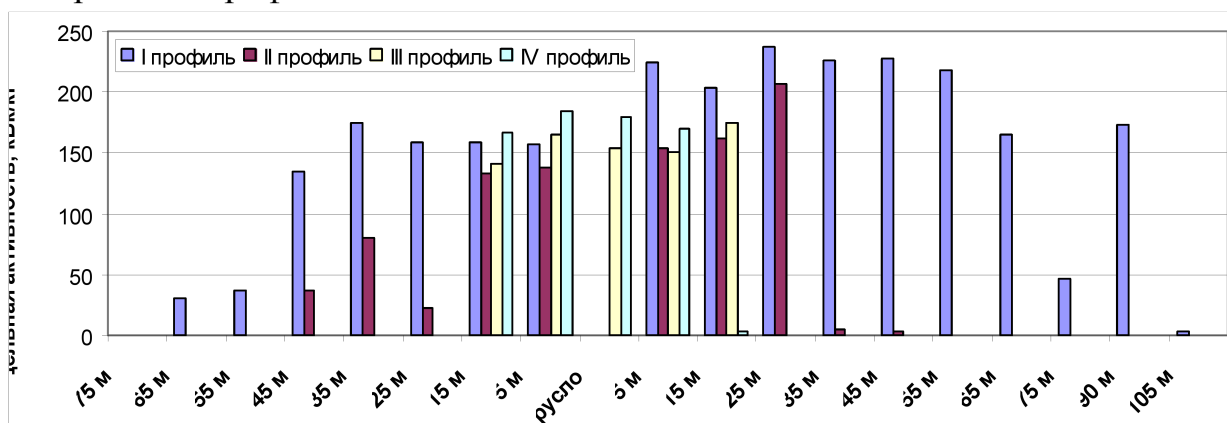


Рисунок 6 Распределение значений удельной активности ^3H в свободной воде растений по поперечным профилям

Наибольшая концентрация ^3H в растительности отмечается в I профиле, расположенном сразу на навалом, и достигает $2,4 \cdot 10^5$ Бк/кг. При этом максимальные значения удельной активности в I профиле и во II профиле несколько смещены от водотока в сторону повышения правой береговой зоны. Некоторое увеличение концентрации ^3H в растительности наблюдается и на повышенном участке справа от водотока в III профиле. Таким образом, можно предположить о существовании дополнительного подтока грунтовых вод содержащих радионуклид ^3H , что, в свою очередь, говорит о наличии как минимум 2-х источников загрязнения ^3H компонентов экосистемы водотоков.

На графике представлено распределение радионуклида ^3H в растениях вдоль по руслу основного водотока ш, выходящего из-под навала (рис.7).

Максимальная удельная активность ^3H в растениях вдоль русла основного водотока не превышает $1,9 \cdot 10^5$ Бк/кг, что в определенной степени подтверждает факт наличия дополнительного источника поступления ^3H с грунтовыми водами, причем с более высокой концентрацией данного радионуклида. В таком случае, увеличение удельной активности ^3H на расстоянии 250 м от навала, видимо, указывает на своего рода "зону слияния" данных грунтовых вод с поверхностными водами основного водотока.

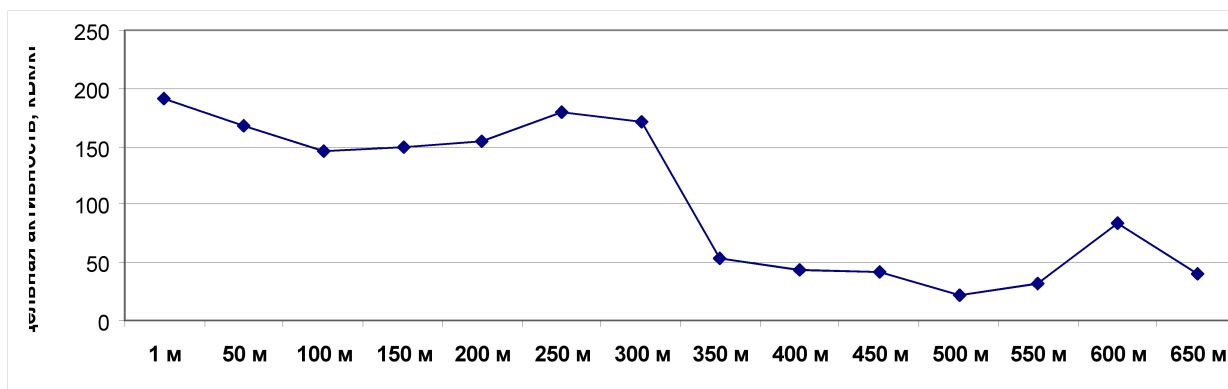


Рисунок 7 Распределение значений удельной активности ^3H вдоль русла основного водотока штольни № 177

Резкое понижение удельной активности ^3H отмечается на расстоянии 350 м от навала и территориально совпадает с участком конечного стока весенних вод, характеризующимся сменой луговой растительности на лугово-степную. Далее по течению водотока содержание ^3H в растениях постепенно снижается (до $2,4 \cdot 10^4$ Бк/кг). Некоторое повышение концентрации ^3H в растительности ($8,3 \cdot 10^4$ Бк/кг) наблюдается лишь в зоне общего конечного стока в р.Узынбулак.

На данном этапе исследования удельная активность ^3H определялась в свободной воде растений, в дальнейшем планируется определение удельной активности ^3H в органическом веществе.

4 ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОГЕНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ РАСТЕНИЙ СИП

Одним из первоначальных этапов эколого-биологических исследований почвенно-растительного покрова радиоактивно-загрязненных территории СИП является изучение морфобиологических особенностей роста и развития природной популяции растений. Жизнеспособность и качество семенного материала в данном случае выступают как основные показатели оценки условий произрастания и адаптации того или иного вида растений в облучаемых фитоценозах. Обследование семенного потомства многолетних дикорастущих растений, полученного из различных (по уровню радиоактивного загрязнения) участков территории СИП, позволило получить довольно наглядное представление об изменчивости данного признака у доминантных видов травянистых растений. Известно, что признаками жизнеспособности семян являются: масса 1000 семян, пустозерность, энергия прорастания и всхожесть.

4.1 Изучение морфобиологических особенностей роста и развития растений

Проведено определение показателей "масса 1000 семян" и "длина семени" 5 доминирующих видов растений в зависимости от радиоэкологических условий их произрастания на разных участках площадок Дегелен и Балапан. Судя по полученным данным, радиационный фактор не оказал заметного влияния на размах изменчивости этих показателей почти у всех исследованных видов растений. Тем не менее, у отдельных видов растений (волоснец узкий, овсяница валплисская, житняк гребневидный, ковыль волосатик) из загрязненных участков семена оказались удлинненными и наиболее выполненными, о чем свидетельствует показатель "масса 1000 семян". Если у волоснеца узкого максимум данного признака пришелся на долю семян, собранных на участках с МЭД 0,60-2,42 мкЗв/ч, то у овсяницы валплисской – при МЭД 31,47 мкЗв/ч, у житняка гребневидного – при МЭД 23,00 мкЗв/ч, а у ковыля волосатика - при МЭД 18,50 мкЗв/ч. Однако, среди обследованных видов растений оказались и такие, в семенах которых

(люцерны серповидной), произрастающих на сильнозагрязненных (до 30,00 мкЗв/ч) территориях, наблюдалась тенденция к снижению показателя "масса 1000 семян".

Результаты статистических характеристик количественной изменчивости отдельных морфобиологических показателей растений свидетельствуют, что на дегеленских участках с более высоким уровнем радиоактивного загрязнения варируемость показателя "масса 1000 семян" волоснеца узкого намного выше по сравнению с контролем, а у семян люцерны серповидной коэффициенты вариации этого показателя практически находятся на одном уровне.

Материалы обследования семян были весьма представительными и отражали реальную картину вариабельности показателя "масса 1000 семян" изучаемых видов растений. На фоне вариабельности размера семян можно было наблюдать тенденцию к возрастанию показателя "масса 1000 семян" с повышением уровня загрязнения. С другой стороны, у этих же растений из более загрязненных участков были зарегистрированы признаки угнетения репродукционного процесса, в результате чего обнаружены повышенный выход пустозерности и семена были крайне щуплыми. Таким образом, изучение семян растений из разных участков, характеризующихся различным уровнем радиоактивного загрязнения, не выявило особых принципиальных различий между обследованными популяциями по показателю "масса 1000 семян".

Среди проб семян исследуемых видов растений (за исключением люцерны), собранных на относительно чистых участках, отклонения наблюдались преимущественно в сторону меньших величин, а среди семян с более загрязненных участков – в сторону больших величин. Здесь наряду с повышением "массы 1000 семян" у злаковых трав отмечалось повышение пустозерности в колосе.

Изучение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян показало, что у всех обследованных видов эти показатели оказались низкими, скорее всего, из-за жесткого гидротермического режима среды их обитания. Тем не менее, результаты морфофизиологического анализа свидетельствуют о наличии определенной изменчивости исследуемых показателей у семян природной популяции растений, произрастающих на участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения.

Известно, что по числу проросших семян заключают о проценте всхожести их и о степени добротности испытываемой пробы семян. Семена растений, собранные на относительно незагрязненных участках горного массива Дегелен, имеют сравнительно высокую энергию прорастания и повышенную всхожесть. В показателях энергии прорастания и всхожести семян волоснеца узкого и люцерны серповидной из участков Дегелена обнаружена более высокая варьированность. Это, видимо, обусловлено более благоприятными условиями увлажненности среды обитания природной популяции растений в горном массиве Дегелен.

Определение энергии прорастания и всхожести семян растений, собранных на участках урочища Балапан свидетельствует об устойчивости генеративных органов к хроническому воздействию радиации. Здесь обнаружены довольно резко бросающиеся в глаза различия в энергиях прорастания и всхожести семян в зависимости от радиационной характеристики мест их формирования. Так, здесь морфофизиологические показатели семян всех без исключения видов растений из контрольных участков урочища Балапан несколько уступают таковым показателям семян растений из более загрязненных участков. При этом характерно, что показатели энергии прорастания и всхожести у исследуемых видов растений в определенной степени коррелируют с таковым "масса 1000 семян", за исключением отдельных проб семян. Наиболее выполненные и удлинённые семена изучаемых видов растений отличаются сравнительно высокими показателями энергии прорастания и всхожести.

Таким образом, полученные сведения по изменчивости морфофизиологических показателей свидетельствуют о том, что изучаемые виды растений довольно успешно произрастают на радиоактивно загрязненных участках, проявляя способность к репродукции семян, обладающих определенной энергией прорастания и всхожестью.

Изучение раннеростовых показателей и учет выживаемости проростков. Наблюдения за ходом прорастания семян растений при посеве в почво-грунт (ящичные культуры) показали, что процесс роста у изучаемых видов несколько отличается. Измерены линейные размеры ростков и корешков у 40-дневных проростков трех видов растений (*Agropyron rectinatum*, *Festuca valesiaca*, *Leymus angustus*), собранных из разных участков урочища Балапан.

Эти показатели, характеризующие начальную силу роста семян, в ряде случаев бывают более информативны, чем, например, показатель всхожести, при оценке степени радиационного облучения растений. Тем не менее, анализ раннеростовых показателей в целом не выявил также существенных их различий в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения мест сбора этих семян. Различия в длине проростков изучаемых видов растений находятся почти в пределах доверительного интервала для среднего значения. Однако у семян трав, собранных из загрязненных участков (р-он "Атомного" озера), линейные размеры корешков и ростков достигали относительно наибольшей величины.

Напомним, что семена этих продвинутых в росте проростков растений были и наиболее полновесные и удлинённые. Лишь у волоснеца узкого из р-на "Атомного" озера размер 40-дневного ростка уступает контрольному варианту, что показывает на возможность депрессии от экологических факторов. Одновременно проведенный учет выживаемости 40-дневных проростков показал, что жизнеспособность растений на исследуемом начальном этапе жизни варьирует как от видовой принадлежности растений, так и от радиационных условий формирования семян. Кроме раннеростовой

реакции на радионуклидный прессинг у растений возникают различного рода аномалии в морфогенетическом процессе, что связано не только с внешним облучением, но и с неравномерностью распределения радиоактивных элементов в тканях растений.

Об этом свидетельствуют результаты лабораторных экспериментов по установлению признаков отдельных структурных элементов клетки в проростках растений из загрязненных и "чистых" участков. В вышеупомянутых 40-дневных проростках *Leymus angustus*, *Medicago falcate*, *Festuca valesiaca*, *Agropyron pectinatum* определялось число хлоропластов и устьиц в 1мм^2 путем снятия срезов из ростка (стебля) и приготовления препарата для просмотра и подсчета под микроскопом Mikmed-2. Число хлоропластов в 1мм^2 клетки ростка растений из загрязненных участков заметно превышает численность хлоропластов ростка с контрольного варианта.

Эта тенденция более характерна для проростков из семян, собранных на территории Дегелена. Проростки из семян, собранных в р-не Атомного озера, имели относительно больше хлоропластов по сравнению с контролем. Однако данное различие находится также в пределах доверительного интервала среднего значения. Следует отметить, что хотя в проростках семян из загрязненных участков обнаружено наибольшее число хлоропластов, здесь хлоропласты и устьица отличаются сравнительно крупными размерами. Необходимо отметить, что число устьиц в проростках семян волоснеца узкого и люцерны серповидной из природной популяции загрязненных участков относительно ниже контроля.

Таким образом, изучение морфобиологических особенностей доминантных видов растений по ряду традиционных параметров (длина семени и масса 1000 семян, энергия прорастания, всхожесть, сила роста, раннеростовая реакция растений, числа хлоропластов и устьиц в проростках) семенного потомства дикорастущих растений Дегелена и Балапан позволило сделать предварительное заключение. Вегетация изучаемых видов растений завершилась формированием более или менее полноценных семян, способных дать начало новому жизненному циклу. Однако для прогнозов возможных последующих изменений в росте и развитии доминантных видов растений, и в целом фитоценоза, необходимы дальнейшие, более обстоятельные исследования.

Сведены результаты определения показателей "масса 1000 семян" и "длина семени" 5 доминирующих видов растений в зависимости от радиоэкологических условий их произрастания на разных участках площадок Дегелен и Балапан. Судя по полученным данным, радиационный фактор не оказал заметного влияния на размах изменчивости этих показателей почти у всех исследованных видов растений. Тем не менее, у отдельных видов растений (волоснец узкий, овсяница валплисская, житняк гребневидный, ковыль волосатик) из загрязненных участков семена оказались удлинненными и наиболее выполненными, о чем свидетельствует показатель "масса 1000

семян". Если у волоснеца узкого максимум данного признака пришелся на долю семян, собранных на участках с МЭД 0,60-2,42 мкЗв/ч, то у овсяницы валплисской – при МЭД 31,47 мкЗв/ч, у житняка гребневидного – при МЭД 23,00 мкЗв/ч, а у ковыля волосатика - при МЭД 18,50 мкЗв/ч. Однако среди обследованных видов растений оказались и такие, в семенах которых (люцерна серповидная), произрастающих на сильнозагрязненных (до 30,00 мкЗв/ч) территориях, наблюдалась тенденция к снижению показателя "масса 1000 семян" (Табл.11).

Необходимо подчеркнуть, что материалы обследования семян были весьма представительными (число повторностей на одну точку составляет 12) и отражают реальную картину вариабельности показателя "масса 1000 семян" изучаемых видов растений. Следует отметить, что на фоне вариабельности размера семян можно было наблюдать тенденцию к возрастанию показателя "масса 1000 семян" с повышением уровня загрязнения. С другой стороны, у этих же растений из более загрязненных участков были зарегистрированы признаки угнетения репродукционного процесса, в результате чего обнаружены повышенный выход пустозерности и семена были крайне щуплыми. Таким образом, изучение семян растений из разных участков, характеризующихся различным уровнем радиоактивного загрязнения, не выявило особых принципиальных различий между обследованными популяциями по показателю "масса 1000 семян" (табл. 11). Среди проб семян исследуемых видов растений (за исключением люцерны),

Таблица 11- Морфобиологические показатели семян из разных участков горного массива Дегелен

Название растения	Место сбора семян	Координаты СШ; ВД	МЭД, мкЗв/ ч	Длина семени, мм		Масса 1000 семян, г	
				M±m	V	M±m	V
Leymus angustus - Волоснец узкий	ШТ-196	49°46'15" 78°64'3"	6,00	9,3±0,6	9,0	3,13±0,57	29,3
	ШТ-133	49°47'29" 78°05'47"	1,40	9,5±1,3	19,2	3,24±0,29	16,8
	ШТ-194	49°47'19" 78°06'27"	0,6	9,7±0,9	13,8	3,41±0,07	3,3
	Контроль. участок	49°57'36" 78°04'08"	0,15	8,2±0,7	11,7	2,37±0,15	9,9
Medicago	ШТ-104	49°45'24" 78°06'27"	30,00	2,4±0,2	13,3	0,97±0,05	8,6

falcata- Люцерн а серпови дная	ШТ-196	94°6'15" 78°64'3"	6,00	2,7±0,3	52,2	1,18±0,05	6,1
	ШТ-195	49°46'38" 78°06'45"	0,30	2,6±0,2	12,3	1,10±0,19	7,3
	Контрол ь. участок	49°57'36" 78°04'08"	0,15	2,9±0,2	11,0	1,36±0,06	6,9

собранных на относительно чистых участках, отклонения наблюдались преимущественно в сторону меньших величин, а среди семян с более загрязненных участков – в сторону больших величин. Здесь наряду с повышением массы 1000 семян у злаковых трав отмечалось повышение пустозерности в колосе.

Таблица 12 - Морфобиологические показатели семян растений из разных участков урочища Балапан

Название растений	Место сбора семян	МЭД, мкЗв/ч	Длина семени, мм		Масса 1000 семян, г	
			M±m	V	M±m	V
Leymus angustus - Волоснец узкий	С-Зберег «Атом. оз.»	31,47	7,4±0,5	9,6	3,12±0,07	3,3
	СКВ.1080	2,42	7,7±0,6	11,6	3,20±0,07	3,8
	СКВ.1301	1,05	6,4±0,7	15,6	2,24±0,13	9,3
	СКВ.1328	0,13	6,7±0,5	9,4	3,08±0,07	2,9
	ОИП-2 (контр.уч.)	0,10	6,5±0,5	9,7	2,37±0,03	1,7
Festuca valesiaca - Овсяница валплисская	С-Зберег «Атом.оз»	31,47	3,8±0,2	8,4	0,69±0,04	9,2
	ОИП-1	1,29	3,6±0,5	17,5	0,55±0,04	9,1
	СКВ.1080	0,19	3,6±0,1	5,6	0,52±0,04	11,2
	СКВ.1301	0,18	3,7±0,2	8,6	0,60±0,04	8,3
	СКВ.1050	0,12	3,5±0,1	4,9	0,47±0,02	7,4
	СКВ.1328	0,13	3,6±0,3	12,5	0,54±0,02	8,9
	ОИП-2 (контр.уч)	0,13	3,5±0,3	12,9	0,45±0,02	7,7
Agropyron rectinatum - Житняк гребневидный	С-Зберег «Атом.оз»	23,00	6,5±0,6	8,5	2,29±0,05	3,5
	ОИП-1	2,58	6,1±0,5	11,9	2,04±0,15	11,2
	СКВ.1050	0,12	6,0±0,4	9,3	1,95±0,04	11,3
	ОИП-2 (контр.уч)	0,10	5,4±2,8	7,4	1,84±0,03	2,4

Stipa capillata- Ковыль волосатик	С-Зберег «Атом.оз»	18,50	12,3±0,9	10,2	5,57±0,13	3,6
	ОИП-1	2,58	11,8±0,6	6,9	5,27±0,04	1,5
	СКВ.1080	0,72	12,0±0,7	8,6	5,45±0,04	1,5
	СКВ.1050	0,12	11,6±0,5	5,6	5,16±0,07	1,9
	СКВ.1328	0,13	10,3±0,5	5,9	5,16±0,07	1,9
	ОИП-2 (контр.уч)	0,10	11,1±0,9	10,7	4,60±0,03	0,9

Результаты статистических характеристик количественной изменчивости отдельных морфобиологических показателей растений свидетельствуют, что на дегеленских участках с более высоким уровнем радиоактивного загрязнения варируемость показателя "масса 1000 семян" волоснеца узкого намного выше по сравнению с контролем, а у семян люцерны серповидной коэффициенты вариации этого показателя практически находятся на одном уровне (табл. 12).

Изучение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян показало, что у всех обследованных видов эти показатели оказались низкими, скорее всего из-за жесткого гидротермического режима среды их обитания. Тем не менее, результаты морфофизиологического анализа свидетельствуют о наличии определенной изменчивости исследуемых показателей у семян природной популяции растений, произрастающих на участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения. Известно, что по числу проросших семян заключают о проценте всхожести их и о степени добротности испытываемой пробы семян. Семена растений, собранные на относительно незагрязненных участках горного массива Дегелен, имеют сравнительно высокую энергию прорастания и повышенную всхожесть (табл. 13).

При этом следует подчеркнуть, что в показателях энергии прорастания и всхожести семян волоснеца узкого и люцерны серповидной из участков Дегелена обнаружена более высокая варьированность. Это, видимо, обусловлено более благоприятными условиями увлажненности среды обитания природной популяции растений в горном массиве Дегелен.

Определение энергии прорастания и всхожести семян растений, собранных на участках урочища Балапан свидетельствует об устойчивости генеративных органов к хроническому воздействию радиации. Здесь обнаружены довольно резко бросающиеся в глаза различия в энергиях прорастания и всхожести семян в зависимости от радиационной характеристики мест их формирования. Так, здесь морфофизиологические показатели семян всех без исключения видов растений из контрольных участков урочища Балапан несколько уступают таковым показателям семян растений из более загрязненных участков.

При этом характерно, что показатели энергии прорастания и всхожести у исследуемых видов растений в определенной степени коррелирует с

таковым "масса 1000 семян", за исключением отдельных проб семян. Наиболее выполненные и удлинённые семена изучаемых видов растений отличаются сравнительно высокими показателями энергии прорастания и всхожести (табл.13).

Следовательно, полученные сведения по изменчивости морфофизиологических показателей свидетельствуют о том, что изучаемые виды растений довольно успешно произрастают на радиоактивно загрязнённых участках, проявляя способность к репродукции семян, обладающих определенной энергией прорастания и всхожестью.

Таблица 13 - Изменчивость морфофизиологических показателей растений на участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения

местность	Названия растений	Место сбора семян	МЭД мкЗв /ч	Энергия прорастания, %			Всхожесть, %		
				$x \pm ts_x$	lim (n=12)	V, %	$x \pm ts_x$	lim (n=12)	V, %
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
Горный массив Дегелен	Leymus angustus-Волоснец узкий	ШТ-196	600	13,3±1,5	8,9~18,1	23	24,9±1,2	20,9~28,1	7,8
		ШТ-194	60	42,8±1,5	37,5~45,6	5,7	45,2±1,2	42,0~49,5	4,4
		Контр.уч.	15	47,5±1,2	43,8~50,3	3,9	49,7±1,0	47,0~52,4	3,3
	Medicago falcata-Люцерна серповидная	ШТ-104	3000	2,1±0,3	1,5~3,0	21	3,1±0,4	2,0~4,1	20,1
		ШТ-196	600	5,1±0,3	4,5~6,0	9,4	6,6±0,5	5,7~8,1	12,7
		ШТ-195	30	5,1±0,3	4,5~6,0	9,8	7,0±1,2	3,6~10,2	26,4
		Контр.уч.	15	10,6±0,6	8,5~12,0	9,4	14,4±0,8	12,6~16,6	8,3
Урочище Балапана	Leymus angustus-Волоснец узкий	СКВ.13 01	1,05	42,6±1,1	40,2~44,9	4,2	46,1±1,3	42,8~49,3	4,6
		ОИП-2 (контроль)	0,10	32,9±0,6	31,53~4,0	3,0	40,0±1,2	36,2~42,7	4,5
	Festuca valesiaca-	ОИП-1	0,29	46,1±1,4	43,5~50,4	4,8	77,0±2,0	69,2~81,2	4,1

	Овсяница а валплисс кая	ОИП-2 (контроль)	0,13	21,6±1,0	19,2~24,4	7,0	43,2±0,8	41,1~45,0	2,9
	Agropyron pectinatum- Житняк гребневидный	ОИП-1	2,58	49,4±1,4	45,9~53,6	4,5	64,2±1,7	58,3~67,4	4,1
		ОИП-2 (контроль)	0,10	46,5±1,5	44,9~48,2	5,2	54,6±1,0	52,3~57,0	2,9

Таким образом, изучение морфобиологических особенностей доминантных видов растений на основании обследования по ряду традиционных параметров (длина семени и масса 1000 семян, энергия прорастания, всхожесть) семенного потомства 3-5 видов растений из дикорастущей, природной, травянистой флоры разных участков горного массива Дегелен и урочища Балапан позволило сделать предварительное заключение о том, что вегетация изучаемых видов растений завершилась формированием более или менее полноценных семян, способных дать начало новому жизненному циклу. Однако для прогнозов возможных последующих изменений в росте и развитии доминантных видов растений, и в целом фитоценоза, необходимы дальнейшие, более обстоятельные исследования.

4.2 Выявление цитогенетических эффектов на природных популяциях растений СИП

Для цитогенетических исследований проведен анализ частоты хромосомных нарушений в апикальной меристеме корешков прорастающих семян доминантных видов растений из разных участков территории СИП. При анализе учитывались такие аномалии, как мосты, фрагменты и отстающие хромосомы.

Результаты цитогенетического анализа показывают, что у семян природной популяции волоснеца узкого, овсяницы валплинской и житняка гребневидного обнаружены некоторые структурные перестройки хромосом в первых митозах меристематических корешков (табл. 14). В первых митозах клеток меристематических корешков семян волоснеца узкого, собранных на загрязненных участках горного массива Дегелен и урочища Балапан обнаружены некоторые отклонения от контроля (относительно "чистый") по частоте аномалий клеточного деления. Здесь структурные нарушения у волоснеца ситникового представлены преимущественно фрагментами и отстающими хромосомами, а у люцерны серповидной из участков Дегелена, овсяницы валплинской и житняка гребневидного из загрязненного участка

урочища Балапан нарушения хромосомной абберации представлены в основном в виде "мостов" и отставших хромосом.

В семенах природной популяции волоснеца узкого, собранных возле штолен 33,196 и 194 количество анафазных клеток с абберациями хромосом составляло $2,9 \pm 0,77$; $1,1 \pm 0,42$ и $0,97 \pm 0,34\%$, тогда как в семенах из контрольного участка этот показатель равняла $0,30 \pm 0,22\%$. В результате, выявлена определенная разница в частотах аномального клеточного деления у семян природной популяции волоснеца узкого из относительно "чистых" и загрязненных участков горного массива Дегелен.

Таблица 14 - Состояние структуры хромосом в митозе у семян природной популяции растений

местности	Название растений	семянсбора Место	мкЗв/чМЭД	Просмотрены и изучены		Структурные перестройки			клетки с абберациями хромосом, %
				корешков	ных клеток анафаз	мосты	ментыфраг-	хромосомыотставшие	
Дегелен	Leymus angustus -волоснец узкий	ШТ-196	6,00	40	478	3	6	5	$2,9 \pm 0,77^*$
		ШТ-133	1,40	40	616	-	4	3	$1,1 \pm 0,42$
		ШТ-194	0,60	54	823	1	6	1	$0,97 \pm 0,34$
		Контр. участок	0,15	41	637	-	-	2	$0,3 \pm 0,22$
	серповидная Люцерна falcata-Medicago	ШТ-196	6,00	36	525	3	-	4	$1,3 \pm 0,49$
		контр. участок.	0,15	27	438	1	-	2	$0,7 \pm 0,39$

Балапан	<i>Leymus angustus</i> -волоснец узкий	С-Зберег "Атом.оз "	31,47	22	314	-	9	7	5,1±1,24*
		контр. участок	0,10	34	386	-	1	1	0,5±0,36
	<i>Festuca valesiaca</i> -овсяница валплисская	С-Зберег "Атом.оз "	31,47	51	415	7	-	4	2,6±0,78*
		контр. участок	0,13	29	303	1	-	1	0,7±0,48
	<i>Agropyron pectinatum</i> житняк гребневидный	С-Зберег "Атом.оз "	3,47	27	310	4	2	4	3,2±0,99*
		контр. участок	0,10	32	375	1	-	2	0,8±0,46

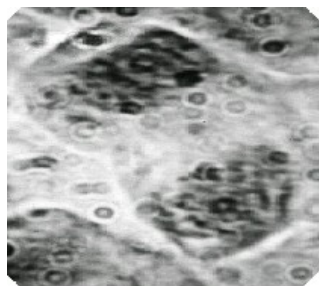
*Различия достоверны $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ на 0,05 уровне значимости.

Аналогичная картина наблюдается в сравнении цитогенетических показателей волоснеца узкого из популяции урочища Балапан.

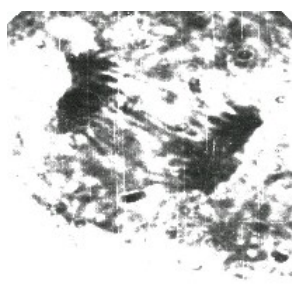
Для сравнительного изучения цитогенетических эффектов были собраны в основном семена доминирующих видов многолетних трав из загрязненных и относительно "чистых" участков. Результаты этих исследований подтверждают наличие структурного нарушения хромосом в первых митозах меристематических корешков природной популяции волоснеца, житняка и овсяницы. У семян популяции волоснеца узкого, овсяницы валплисской и житняка гребневидного собранных на сильнозагрязненных участках в районе "Атомного" озера количество анафазных клеток с абберациями хромосом составляло соответственно 5,1±1,24; 2,6±0,78 и 3,2±0,99%, а на контрольных участках количество нарушенных анафазных клеток составляло соответственно 0,5±0,36; 0,7±0,48 и 0,8±0,46.

При цитогенетическом анализе меристематических корешков семян природной популяции растений отдельных участков площадок Дегелен и

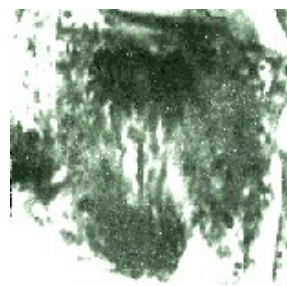
Балапан отмечено достоверное превышение по сравнению с контролем числа анафазных клеток с нарушениями (Рис. 17 и 18). Характерна относительно пониженная частота встречаемости растений с нарушениями митоза в первичных меристематических корешках. Анализ спектра aberrаций хромосом показал, что у исследованных природных популяций волоснеца узкого более половины перестроек составляют фрагменты (табл. 14).



а



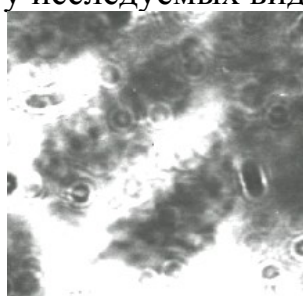
б



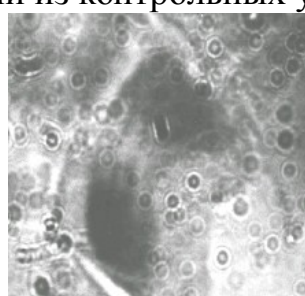
в

Рисунок 17 - Хромосомы в анафазах клетках корешков семян *Leymus angustus* из разных участков горного массива Дегелен: а - хромосома без aberrаций (контрольный участок); б - aberrация в виде моста, фрагмента и отставших хромосом (шт. 196); в - aberrация в виде моста.

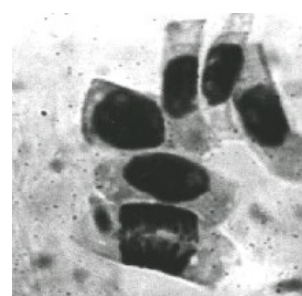
Таким образом, средний уровень нарушений в семенах изучаемых видов растений из природной популяции загрязненных участков несколько выше по сравнению с таковой на относительно "чистых" (0,10-0,15 мкЗв/ч) территориях. Если принять частоту структурных перестроек митотических хромосом за критерий, то сравнительная радиочувствительность природных популяций доминантных видов растений имела бы последовательность: *Leymus angustus*, *Agropyron pectinatum*, *Festuca valesiaca*, *Medicago falcata*. Встречаемость частот с нарушенной структурой хромосом была очень низкая у исследуемых видов растений из контрольных участков.



а

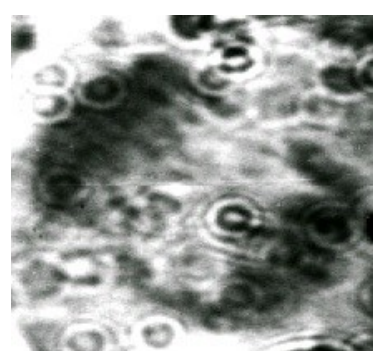
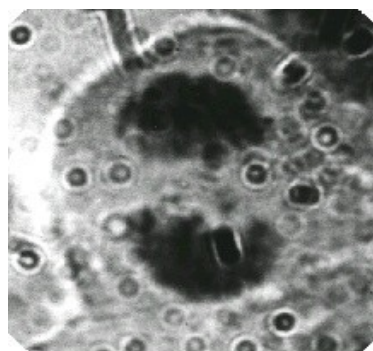
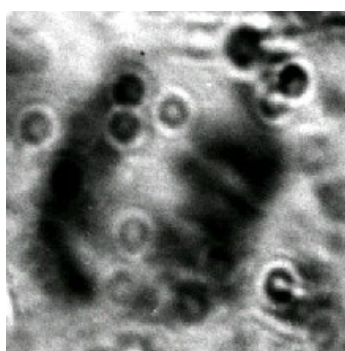


б



в

Рисунок 18 - Хромосомы в анафазах клетках корешков семян *Agropyron pectinatum* из разных участков урочища Балапан: а - хромосома без aberrаций (контрольный участок); б - aberrация в виде отставших



хромосом (с-з "Атомного" озера); в - абберрация в виде моста и фрагмента.

а

б

в

Рисунок 19 - Хромосомы в анафазах клетках корешков семян *Leymus angustus* из разных участков урочища Балапан:

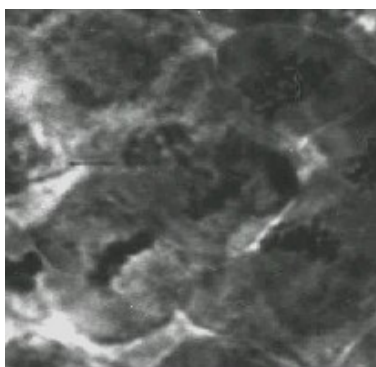
а - хромосома без абберраций (контрольный участок); **б** - абберрация в виде фрагмента (с-з берег "Атомного озера"); **в** - абберрация в виде отставших хромосом (с-з берег «Атомного озера»).

При цитогенетическом анализе меристематических корешков семян природной популяции растений отдельных участков площадок Дегелен и Балапан отмечено достоверное превышение по сравнению с контролем числа анафазных клеток с нарушениями (рис. 17-21)

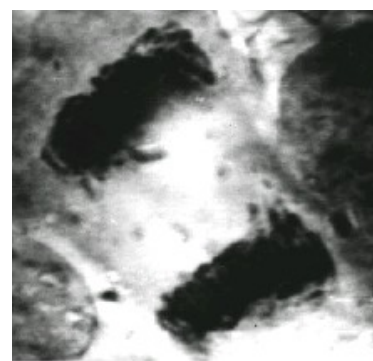
Анализ спектра абберраций хромосом показал, что у исследованных форм волоснеца узкого из природных популяций более половины перестроек составляют фрагменты. Если принять частоту структурных перестроек митотических хромосом за критерий, то сравнительная радиочувствительность природных популяций доминантных видов растений имела бы последовательность: *Leymus angustus*, *Agropyron pectinatum*, *Festuca valesiaca*, *Medicago falcata*. Установлено, что ключевым признаком, с которым тесно коррелирует чувствительность растений к облучению, является размер хромосом [12,13]. У волосенца и житняка размеры хромосом больше, по сравнению типчаком и люцерны.



а



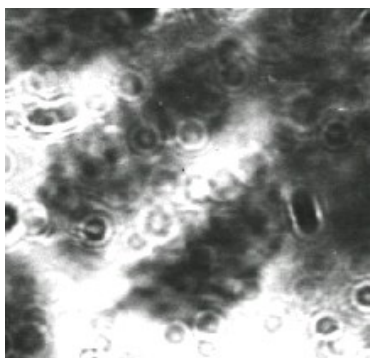
б



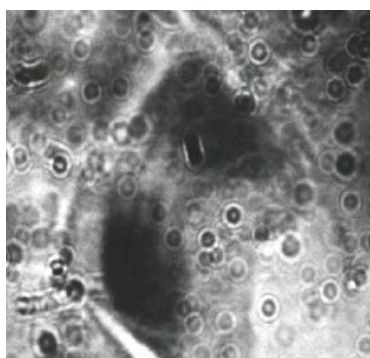
в

Рисунок 20 - Хромосомы в анафазах клетках корешков семян *Medicago falcata* из разных участков горного массива Дегелен:

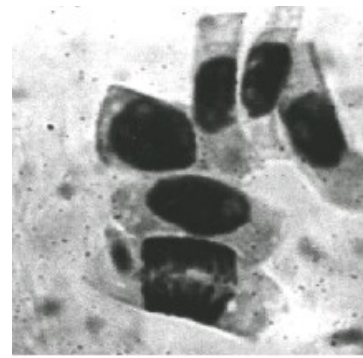
а - хромосома без абберраций (контрольный участок); **б** - абберрация в виде моста (шт.196); **в** - абберрация в виде отставших хромосом (шт.196).



а



б



в

Рисунок 21 - Хромосомы в анафазах клетках корешков семян *Agropyron rectinatum* из разных участков урочища Балапан:

а - хромосома без aberrаций (контрольный участок); **б** - aberrация в виде отставших хромосом (с-з "Атомного озера"); **в** - aberrация в виде моста и фрагмент (с-з "Атомного озера").

Встречаемость частот с нарушенной структурой хромосом была очень низкая у исследуемых видов растений из контрольных участков.

Таким образом, средний уровень нарушений в семенах изучаемых видов растений из природной популяции загрязненных участков несколько выше по сравнению с таковой на относительно "чистых" (0,10-0,15 мкЗв/ч) территориях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих данных о флоре и фауне горного массива Дегелен проведен на основе сбора и обобщения сведений и материалов геоботанических и зоологических исследований на территории полигона. Растительность горного массива Дегелен представлена типично степными сообществами, включающие более 200 видов высших растений. По шлейфам низкогорий формируются полынно-злаковые ценозы с участием таволги зверобоелистной, очисток гибридной и вероники серебристой. На гранитах разреженные сообщества южным склонам приурочены кустарниково-холодно полынно-тырсовые ценозы. Каменистые вершины низкогорий высшими растениями не освоены.

Анализ состояния изученности проблемы подтверждает необходимость проведения эколого-биологических исследований растительного покрова радиоактивно-загрязненных территорий и цитогенетического мониторинга природной популяций растений для более объективной оценки радиоэкологического состояния территорий бывшего СИП.

Не существует принципиальных различий между исследованными популяциями растений, произрастающими на различных по уровню радиоактивного загрязнения участках, особенно в их способности к репродуктивному воспроизводству, что требует проведения дальнейших исследований в этом направлении более углубленно.

Результаты цитогенетического анализа свидетельствуют о наличии у растений превышения частоты встречаемости с нарушениями митоза у семян из более загрязненных участков горного массива Дегелен и урочища Балапан.

В целом, полученные данные позволяют сделать вышеуказанные предварительные выводы, которые нуждаются в дополнениях и расширениях комплексными эколого-биологическими исследованиями.

Выводы:

1. Изучение морфобиологических особенностей доминантных видов растений на отдельных участках горного массива Дегелен и урочища Балапан показало, что особо заметных различий в формообразовании и изменчивости морфобиологических биологических показателей между изученными их популяциями не существуют. Имеется тенденция отклонений исследуемых показателей у семян растений, произрастающих на участках с разным уровнем радиоактивной загрязненности.
2. Результаты цитогенетических исследований выявили наличие превышения частоты встречаемости с нарушенным митозом у семян растений, хронически облучающихся на более загрязненных участках горного массива Дегелен и урочища Балапан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидрогеология горного массива Дегелен // Отчет ИГИ НЯЦ РК по контракту DNA-001-95-179, Курчатов, 1996.
2. Султанова Б. М. Критерии оценки современного состояния растительности Семипалатинского испытательного полигона.// Материалы научно-практической конференции «Радиационная безопасность и социально-экологические проблемы Казахстана», Караганда, 11-13 ноября 1997 г., Алматы, 1998.
3. Федорович Б. А. Схема природного районирования Казахстана. М: Наука, 1969, с. 289-307.
4. Почвы Казахстана, Алма-Ата изд. «Кайнар», 1981.
5. Карамышева З. В., Рачковская Е. И. Ботаническая география степной части Центрального Казахстана. Издательство «Наука», Л. 1973.
6. Султанова Б. М. Антропогенная трансформация растительности Семипалатинского испытательного полигона, Алматы, 1996.
7. Алисов Б. П. Климаты СССР, М., 1969.

8. Паушева З.В. Практикум по цитологии растений М., 1970, С.225.
9. Методические указания по обследованию радиационной обстановки и радиоэкологической агрооценке с.-х. угодий на территории бывшего СИП и прилегающих к нему регионов. Курчатов, 1998, с.29.
10. Дубинин Н.П., Шевченко В.А., Алексеенко А.Я. и др. О генетических процессах в популяциях, подвергающихся ионизирующей радиации // Успехи современной генетики. М., «Наука», Вып.4, 1972, с. 170 – 205.
11. Vewissen D.J., Damblon J., Bacg Z.M. Comparative sensivity to radiation of seeds from wild plant on Uraniferons and non – Uraniferons sols // Nature, 1959. Vol. 183. № 4673. – P. 1449.
12. Черезанова Л.В., Алексахин Р.М. О биологическом действии повышенного фона ионизирующей радиации и процессах радиоадаптации в популяциях травянистых растений // Журн. общ. биологии. 1975, т.36. №2, с. 303-311.
13. Кальченко В.А., Шевченко В.А., Абрамов В.И., Черезанова Л.В. Изучение
14. Валева С.А. Проблема радиочувствительности растений // Современные проблемы радиационной генетики. Дубинин Н.П., М., 1969. (с.280-302)
15. Гриних Л.И., Шевченко В.В. Цитогенетический эффект хронического облучения, обнаруженный с помощью анализа двух первых митозов в корневой меристеме прорастающих семян *Cremistector* и *Миз 30* километровой зон. Аварии чернобыльской АЭС // ж. Радиобиология, т.30, вып.6, «Наука» М., 1992, с. 723-727.
16. Сарапульцев Б.Н., Гераськин С.А., Иванова Г.А. Видовая радиорезистентность растений в фазах вегетации и покоящихся семян // ж. Радиобиология, т.29, вып.4, «Наука», М., 1989, с. 506 – 509.
17. Тулеубаев Б.А. Оценка радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова и цитогенетический мониторинг // Отчет 2002г.
18. Эйзенбад М. Радиоактивность внешней среды. Атомиздат. М., 1967.
19. Тимофеев-Ресовский Н.В., Титлянова А.А., Тимофеева Н.А. и др. Поведение радиоактивных изотопов в системе почва – раствор. Радиоактивность почв и методы ее определения –Москва. Изд. «Наука». 1966.-с.46-80
20. Ковалевский А.Л. О физиологических барьерах поглощения у растений по отношению к большим концентрациям урана в питающей среде. Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующих излучений. – Сыктывкар. 1973. С 94.
21. Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И., Вертикальная миграция тяжелых естественных радионуклидов и трансформация их в почве подзолистого типа. // Сб.: Сочетанное действие факторов радиационной и нерадиационной природы на растительные и животные организмы. Отв. Ред. А.И. Таскаев. Сыктывкар, 2000, с. 132 – 141.
22. Основные черты геохимии урана. / Под ред. А.П. Виноградова. – М.,

1963. – С. 23.
23. Сабова Т., Мусатовова О., Ваврова М., Барта Ш., Вирдзек Ш., Оравец Ю., Наварчик И. Коэффициенты перехода цезия и стронция (системах почва-растение и растение-животное). // Сб.: Экологические последствия радиоактивных загрязнений среды. Отв. ред. А.И. Таскаев. Сыктывкар, 1991, с. 128 – 136.
 24. Гиляров М.С., Криволуцкий Д.А. Радиоэкологические исследования в почвенной зоологии. // Зоол. Журн. – 1971. – Т.50. - № 3. – С. 329-342.
 25. Криволуцкий Д.А. Радиоэкология сообщества наземных животных. М.: Наука, 1993. – 366 с.
 26. Криволуцкий Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука, 1994. – 269 с. Сб. Воздействие радиоактивного загрязнения на наземные экосистемы в зоне аварии на Чернобыльской АЭС (1986 – 1996). Отв. ред. А.И. Таскаев. Сыктывкар, 1996, с. 139 – 151.
 27. Мартюшов В.З., Смирнов Е.Г., Гуро Н.В. Сравнение некоторых методов оценки корневого поступления ^{90}Sr и ^{137}Cs в растения. Труды Коми научного центра УрО РАН. № 145. 1996. С. 73 – 78.
 28. Крулов С.В., Алексахин Р.М., Васильева Н.А., Куринов А.Д., Ратников А.Н. О формировании радионуклидного состава почв в зоне аварии Чернобыльской АЭС. // Журн. Почвоведение, 1990. № 10. С. 26 – 34.
 29. Дричко В.Ф., Цветкова В.В. Сорбционная модель поступления радионуклидов из почвы в растения. // Журн. Почвоведение, 1990. № 10. С.
 30. Алексахин Р.М., Моисеев И.Т., Тихомиров Ф.А. Агрохимия ^{137}Cs и его накопление сельскохозяйственными растениями. // Журн. Агрохимия. № 2. 1977. С. 129 – 140.
 31. Юдинцева Е.В., Гулякин И.В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. М., 1968.
 32. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Сельскохозяйственная радиобиология. М., 1973.
 33. Марей А.Н., Бархударов Р.М., Новикова Н.Я. Глобальные выпадения ^{137}Cs и человек. М., 1974.
 34. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. М., 1974.
 35. Моисеев А.А., Рамзаев П.В. Цезий-137 в биосфере. М., 1975.
 36. Фролова Н.П., Попова О.Н., Таскаев А.И., Башлыкова Л. Жизнеспособность семян отдельных представителей семейства злаковые из хронически облучающихся природных фитоценозов. // Сб.: “Радиоэкология биогеоценозов с повышенным фоном естественной радиоактивности”. Отв. Ред. А.И. Таскаев. Сыктывкар, 1991, с. 80 – 94, 95 – 107.
 37. Таскаев А.И., Попова О.Н. и др. Радиация как экологический фактор при антропогенном загрязнении. Сыктывкар, 1984г.
 38. Радиационная защита. Рекомендации МКРЗ. Публикация, №26. /Пер. с

- англ. Под редакцией А.А.Можеева и П.В. Рамзаева. _ М.; Атомиздат. 1978.
39. Сердитов Н.П. Радиостимуляция митотической активности корневых меристем некоторых представителей сем. RANUNCULACEAE в различных радиоэкологических условиях. //Сб.: “Рдиоэкология биогеоценозов с повышенным фоном естественной радиоактивности”. Отв. Ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 1987, с. 83 –86.
 40. Дроздов С.Н., Сычева З. Ф., Будыкин Н.П. Эколого-физиологические аспекты устойчивости растений к заморозкам. – Л.: Наука, 1977.
 41. Фролова Н.П., Таскаев А.И., Фролов Ю.М. Реакция многолетних злаковых растений на действие ионизирующих излучений. //Сб.: “Рдиоэкология биогеоценозов с повышенным фоном естественной радиоактивности”. Отв. Ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 1987, с. 87 –93.
 42. Russell R. Health Phys., v. 11, No. 12, 1965.
 43. Kirchmann R., Fagmiart E., Puymboeck S. In: “Radioecological Concentration Processes”. Pergamon Press. 1967.
 44. Назаров. Автореферат Канд. дис. М., 1974.
 45. Burovac V., Wittwer S., Tukey H. In: “Radioactive Fallout, Soils, Plants, Foods, Man”. Amsterdam – London-New York. 1965.
 46. Middleton L., Sanderson J., Exptl J. Bot., v. 16. No. 47. 1965.
 47. Гулякин И.В. и др. Известия ТСХА, вып. 4, 1974.
 48. Moorby J. Exptl Bot., v. 15. No. 45. 1964.
 49. Гулякин И.В. и др. Известия ТСХА, вып. 3, 1974.
 50. Титлянова А.А. Ж. Почвоведение. № 3. 1962.
 51. Тимофеев-Ресовский Н.В. и др. Радиоактивность почв и методы ее определения. М., 1966.
 52. Schulz R. Health Phys., v. 11, No. 12, 1965.
 53. Бакунов Н.А. Автореферат Канд. Дис. М., 1967.
 54. Nishita H. Et al. Soil Sci., v. 81. No. 4. 1956.
 55. Ключковский В.М., Гулякин И.В. Ж. Почвоведение. № 3. 1958.
 56. Ключковский В.М., Соколова Л.Н., Целищева Г.Н.. Труды II Междунар. Конф. По мирному использованию атомной энергии. Т. 5. М., 1959.
 57. Титлянова А.А. Тимофеева Н.А. Ж. Почвоведение. № 3. 1959.
 58. Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почвы и растений. М., 1963.
 59. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В. Известия ТСХА, вып. 5, 1969.
 60. Белова Е.И., Шаров Г.Е., Моисеев А.А. К вопросу о поведении цезия-137 в дерново-подзолистых почвах Украинского полесья. М., 1972.
 61. Пуринь А.П. Автореферат Канд. Дис., Елгава. 1971.
 62. Кокотов Ю.А., Попова Р.Ф., Урбанюк А.П. Радиохимия. Т. 3, № 2, 1961.
 63. Радиоактивность и пища человека. Под ред. Р.С. Рассела. М., 1971.
 64. Громов В.А., Николаева Е.М., Маракушин А.В. Прогнозирование накопления ^{90}Sr в зерне ячменя в зависимости от погодных условий. № 9 1982 стр.118-119.

65. Бондарь П.Ф. К вопросу о механизме поступления ^{90}Sr в клубни картофеля. *Агрохимия* 1985, №2.
66. Юдинцева Е.В., Гулякин И.В. *Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия*. М.: Атомиздат, 1968. 472 с.
67. Рассел Р.С. *Радиоактивность и пища человека*. / Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1971. 373 с.
68. Мельникова М.К., Баранова З.А. О механизме поступления радиостронция в клубни картофеля. М.: Атомиздат, 1969. 11 с.
69. Мельникова М.К., Баранова З.А. *Ж. Физиология растений*. 1971, т. 18, вып. 2, с 430.
70. Бондарь П.Ф. *Агрохимия*, 1983, № 7 с. 69.
71. Маликов В.Г., Перепелятникова Л.В., Жуков Б.И. Видовые и сортовые различия растений в накоплении радиостронция и радиоцезия из почвы. *Агрохимия* №8, 1981. с94-98.
72. Е.И. Преображенская О сглаживании или полном исчезновении различий в радиоустойчивости проростков у видов, резко различающиеся по радиоустойчивости покоящихся семян. // *ж. Радиобиология*. т.30, вып.1, М., «Наука», 1990, с. 114.
73. Журавская А.Н., Стогний В.В., Кершенгольц Б.М. Зависимость радиочувствительности семян растений от экологических условий места произрастания. // *Радиационная биология. Радиоэкология*. Е. 38. 1998 г. вып. 5. С. 706-711.
74. Кудинов М.А. Радиочувствительность некоторых видов древесных растений в условиях Белоруссии // *Радиобиология*. Т.VIII, в.2. Наука, М. 1968, с.313-315.
75. Феденко В.С., Стружко В.С. // *Физиология и биохимия культурных растений*. – 1996. – 28, № 4. – С. 273-281.
76. Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. – М.: Атомиздат, 1997. – 136 с.
77. Савин В.Н. Действие ионизирующего излучения на целостный растительный организм. – М.: Энергоиздат. 1981. –120 с.
78. Формирование радиобиологической реакции растений. / Д.М. Гродзинский, К.Д. Коломиец и др. – Киев: Наукова думка, 1984. – 216 с.
79. Попова О.Н., Шершунова В.И. Устойчивость проявления в потомстве морфофизиологических признаков семян *V. GRACCA L.* из хронически облучающегося фитоценоза. *Сб.: Труды Коми филиала Академии наук СССР*. Отв. ред. Гецен М.В.. Сыктывкар. 1987. С. 69-76.
80. Архипов Н. П. и др. *Ж. Почвоведение*. 1974, №7, с.61.
81. Калам Ю., Орав Т. Хлорофильная мутация. Таллин: Валгус, 1974. -60 с.
82. Плохинский Н.А. Математические методы в биологии. - М.: Изд-во. МГУ, 1972. -с.46-52.
83. Таскаев А.И. Радиоэкологический мониторинг природных экосистем. *Сб.: Труды Коми научного центра УрО РАН* №130, 1993., с.80-87.
84. Корнеев Н.А. Роль чернозема в проблемах радиоэкологии. // *Аграрная*

наука. 1996. № 3. С. 20-21.

85. Ипатьев В.А., Дворник И.М., Жученко Т.А. О моделировании и прогнозе миграции ^{137}Cs в гидроморфных почвах лесных экосистем Белорусского полесья. // Доклады АН Беларуси. 1996. Т. 40. Вып. 1. С. 81-84.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список видов сосудистых растений флоры горного массива Дегелен

Семейство барбарисовые (Berberidaceae)

Барбарис сибирский - *Berberis sibirica*

Семейство березовые (Betulaceae)

Береза плакучая - *Betula pendula*

Семейство бобовые (Leguminosae Luss)

Астрагал подземный - *Astragalus hyrogaeus*

Астрагал пушистый - *Astragalus puberulus*

Донник белый - *Melilotus albus*

Донник зубчатый - *Melilotus dentalus*

Карагана-кустарник - *Caragana frutex*

Карагана низкорослая - *Caragana pumila*

Клевер луговой - *Trifolium pratense*

Горошек мышиный - *Vicia cracca*

Люцерна серповидная - *Medicago falcata*

Солодка уральская - *Glycyrrhiza uralensis*

Чингил серебристый - *Holimodendron holodendron*

Чина гороховидная - *Lathyrus pisiformis*
 Чина луговая - *Lathyrus pratensis*
 Эспарцет виколистный (посевной) - *Onobrychis vicifolia*
 Семейство бурачниковые (Borraginaceae Luss)
 Липучка ежевидная - *Lappula echinata*
 Оносма красильная - *Onosma tectorum*
 Оносма простейшая - *Onosma simplicissimum*
 Окопник лекарственный - *Symphytum officinale*
 Семейство валериановые (Valerianaceae S. Ceray)
 Патриния средняя - *Patrinia intermedia*
 Семейство вьюнковые (Convolvulus L.)
 Вьюнок полевой - *Convolvulus arvensis*
 Семейство гвоздичные (Caryophyllaceae Luss)
 Гвоздика жесткая - *Dianthus rigidus*
 Гвоздика узколистная - *Dianthus leptopetalus*
 Качим метельчатый - *Gypsophila paniculata*
 Качим Патрэна - *Gypsophila patrinii*
 Смолевка мелкоцветковая - *Silene parviflora*
 Смолевка кустарничковая - *Silene sulfrutescens*
 Семейство гречишные (Polygonaceae)
 Горец змеиный - *Polygonum bistorta*
 Горец птичий - *Polygonum aviculare*
 Курчавка отогнутая - *Atrophax replicata*
 Ревень компактный - *Rheum compactum*
 Щавель конский - *Rumex confertus*
 Щавель маршаловский - *Rumex marchalliana*
 Семейство губоцветные (Labiatae Luss)
 Дубровник чесночный - *Teucrium scordium*
 Зопник клубненосный - *Phlomis tuberosa*
 Мята полевая - *Mentha arvensis*
 Зопник опушенный - *Phlomis puberula*
 Пустырник сизый - *Leonurus glaucescens*
 Шалфей степной - *Salvia gtepposa*
 Шлемник обыкновенный - *Scutellaria galericulata*
 Семейство заразиховые (Orobanchaceae)
 Заразиха уральская - *Orobanche uralensis*
 Семейство злаковые (Gramineae)
 Бекмания обыкновенная - *Besmania eruciformis*
 Бескильница длинночешуйная - *Puccinellia dolicholepis*
 Бескильница тончайшая - *Puccinellia tenuissima*
 Волоснец узкий - *Elymus angustus*
 Волоснец подражающий - *Elymus acmulans*
 Вейник ложнотростниковый - *Calamagrostis pseudophragmites*
 Ежовник рисовидный - *Echinochloa oryzoides*

Змеевка растопыренная - *Cleistogenes squarrosa*
 Ковыль волосатик - *Stipa capillata*
 Ковыль сарептский - *Stipa sareptana*
 Костер безостный - *Bromus inermis*
 Костер тончайший - *Bromus gracillimus*
 Леерсия рисовидная - *Leersia oryzoides*
 Лисохвост тростниковидный - *Alepecurus arundinaceus*
 Ломкоколосник ситниковый - *Psothyrostachys juncea*
 Мортук восточный - *Eremopyrum orientale*
 Мятлик степной - *Poa Stepnosa*
 Мятлик однолетний - *Poa annua*
 Мятлик луковичный - *Poa bulbosa*
 Овес пустой (овсюг) - *Avena fatua*
 Овсец пустынный - *Avenastrum desertorum*
 Полевичка тростниковая - *Eragrostis arandinacea*
 Прибрежница колючая - *Aeluropus pungens*
 Пырей гребневидный - *Agropyron pectiniforme*
 Пырей гребенчатый - *Agropyron cristatum*
 Тимофеевка степная - *Phleum Phleoides*
 Типчак бороздчатый - *Festuca salcata*
 Тонконог тонкий - *Kalleria gracilis*
 Тростник австралийский - *Phragmites australis*
 Чий лисий - *Lasiagrastis caragana*

Семейство зонтичные (Umbelliferae)

Ферула джунгарская - *Ferula songorica*
 Ферула метельчатая - *Ferula feruloides*

Семейство ивовые (Salicaceae)

Ива пепельносерая - *Salix cinerea*
 Ива пятитычинковая - *Salix pseudopentandra*
 Тополь седоватый - *Populus canescens*

Семейство истодовые (Polygalaceae)

Истод гибридный - *Polugala hybrida*

Семейство камнелосковые (Saxifragaceae)

Камнеломка узколистная - *Saxifraga stenophylla*

Семейство касатиковые (Iriolasea)

Ирис кожистый - *Iris scariosa* Ирис сибирский - *Iris sibirica*

Семейство кипрейные (Onograceae)

Иван-чай узколистный - *Chamaenerium angustifolium*

Семейство кипарисовые (Cupressaceae)

Можжевельник казачий - *Juniperus sabina*

Семейство колокольчиковые (Campanulaceae)

Колокольчик алтайский - *Campanula altaica*

Семейство крапивные (Urticaceae)

Крапива двудомная - *Urtica dioica* Крапива коноплевая - *Urtica cannabina*

Семейство крестоцветные (Cruciferae)

Бурачок двусемянный - *Allium biovulatum*
Гулявник изменчивый - *Sisymbrium polymorphum*
Желтушник гулявниковидный - *Erysimum sisymbriades*
Желтушник раскидистый - *Erysimum diffesum*
Клоповник плотноцветковый - *Lepidium densiflorum*
Клоповник широколистный - *Lepidium catifolium*

Семейство лилейные (Liliaceae)

Лук алтайский - *Allium altaicum*
Лук косой - *Allium obliquum*
Лук линейный - *Allium linearae*
Лук нитчатolistный - *Allium filifolium*
Спаржа обыкновенная - *Asparagus officinalis*
Тюльпан Шренка - *Tulipa schrenkii*

Семейство лютиковые (Ranunculaceae)

Купальница алтайская - *Trallins altaicus*
Лютик многолистный - *Ranunculus polyphyllus*

Семейство маревые (Chenopodiaceae)

Ежовник солончаковый - *Anabasis salsa*
Комфоросма марсельская - *Camphorosma manspeliaca*
Лебеда седая - *Atriplex сапа*
Поташник олиственный - *Kalidium foliatum*
Рочаг песчаный - *Cerotocarpus arenorins*
Сарсазан шишковатый - *Holochnenum Strobilaceum*

Семейство мареновые (Rubiaceae)

Подмаренник цепкий - *Galium aparine*
Подмаренник топяной - *Galium uliginosum*

Семейство молочайные (Euphorbiaceae)

Молочай полусердцевидный - *Euphorbica subcordata*

Семейство норичниковые (Scrophulariaceae)

Вероника длиннолистная - *Veronika longifolia*
Вероника колосистая - *Veronika spiraca*
Вероника ненастоящая - *Veronika spuria*
Вероника перистая - *Veronika pinnata*
Вероника серебристая - *Veronika incana*
Льнянка дроколистная - *Linaria genistifolia*

Семейство осоковые (Cyperaceae)

Камыш озерный - *Scirpus lacustris*
Осока узколистная - *Carex divise*
Осока пузырчатая - *Carex vesicaria*
Осока черноколосая - *Carex melanostachys*

Семейство парнолистниковые (Lygaphyllaceae)

Селитранка сибирская - *Nitraria sibirica*

Семейство подорожниковые (Plantaginaceae)

Подорожник Корнута - *Plantago carnutii*
 Подорожник прижатый - *Plantago depressa*
 Семейство розговые (Typhaceae)
 Рогоза узколистная - *Typha angustifolia*
 Семейство розоцветные (Rosaceae)
 Кизильник малоцветковый - *Cotoneaster oliganthus*
 Кизильник черноплодный - *Cotoneaster melanocarpa*
 Кровохлебка аптечная - *Sanguisorba officinalis*
 Лабазник вязолистный - *Filipendula ulmaria*
 Лапчатка белеющая - *Potentilla dealbata*
 Лапчатка бесстебельная - *Potentilla acaulis*
 Репейничек азиатский - *Agrimonia asiatica*
 Таволга зверобоелистная - *Spiraea hypericifolia*
 Таволга трехлопостная - *Spiraea trilobata*
 Хамеродос прямостоящий - *Chamaerhodes erecta*
 Шиповник коричный - *Rosa cinnamomea*
 Шиповник колючий - *Rosa spinosissima*
 Шиповник Павлова - *Rosa Pavlovii*
 Семейство свинчатковые (Plumbaginaceae)
 Гонилимон красивый - *Gonilimon Speciosum*
 Кермек Гмелина - *Limonium gmelini*
 Кермек полукустарниковый - *Limonium suffruticosum*
 Семейство ситниковые (Juncaginaceae)
 Ситник сплюснутый - *Juncus compressus*
 Семейство сложноцветные (Compositae)
 Астра алтайская - *Aster altaicus*
 Анкофия огненная - *Ancafhia igniaria*
 Аяния кустарничковая - *Ajania fruticulosa*
 Аяния трехлопостная - *Ajania trilobata*
 Василек красивый - *Centaurea pulchella*
 Горчак ползучий - *Acrophilon repens*
 Девясил многостебельный - *Inula multicaules*
 Козелец пурпуровый - *Scorkonera purpurea*
 Крестовник эруколистный - *Senecio erucefolins*
 Лопух войлочный - *Arctium tomentosum*
 Мордовник обыкновенный - *Echinops ritro*
 Наголоватка алтайская - *Lurinea altaica*
 Полынь высокая - *Artemisia pracere*
 Полынь белоземельная - *Artemisia terrae*
 Полынь гребенчатая - *Artemisia pectinata*
 Полынь замещающая - *Artemisia commutata*
 Полынь каменная - *Artemisia rupestris*
 Полынь маршаловская - *Artemisia marchallianae*
 Полынь малоцветковая - *Artemisia pauciflora*

Полынь метельчатая - *Artemisia Scoparia*
Полынь обыкновенная - *Artemisia Vulgaris*
Полынь полусухая - *Artemisia semiarida*
Полынь приятная - *Artemisia amoena*
Полынь селитрянка - *Artemisia nitrasa*
Полынь тонковатая - *Artemisia gracilescens*
Полынь эстрагон - *Artemisia dracunculus*
Соссюра тургайская - *Saussurea turgaiensis*
Солонечник двухцветковый - *Galatella bitlara*
Солонечник узкий - *Galatella angustissima*
Тысячелистник обыкновенный - *Achillea nullifolium*
Чертополох курчавый - *Carduns crispus*
Ястребинка азиатская - *Hieracium asiaticum*

Семейство толстянковые (Grassulaceae)

Горноколосник колючий - *Orostachys spinosa*
Очиток гибридный - *Sedum hybridum*

Семейство франкениевые (Franheniaceae)

Франкения жестоволосистая - *F. hirsuta*

Семейство эферовые (Ephedraceae)

Эфедрa двуколосковая - *E. distachya*