

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук  
(УФИЦ РАН)

Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение

Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии  
Наук  
(УИБ УФИЦ РАН)

**НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(ДИССЕРТАЦИЯ)**

**БАХТИНА СВЕТЛАНА ЮРЬЕВНА**

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН**

Выполнил:

Аспирант 4 курса очной формы  
обучения

Направление подготовки

06.06.01 Биологические науки

Направленность 03.02.08. – Экология

Допущено к защите  
Решением Ученого совета  
Протокол \_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.  
Ученый секретарь УИБ УФИЦ РАН  
\_\_\_\_\_/ Уразгильдин Р.В. /  
подпись (Ф.И.О.)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

Научный руководитель  
Кулагин Алексей Юрьевич  
д.б.н., профессор,  
зав. Лабораторией лесоведения  
\_\_\_\_\_/ Кулагин А.Ю. /  
подпись (Ф.И.О.)

Уфа – 2019

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) .....	6
ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН.....	10
2.1. Общая физико-географическая характеристика Южного Урала.....	10
2.2. Почва и климатические условия Башкортостана.....	13
2.3. Растительность Башкортостана.....	15
2.4. Промышленное загрязнение экосистем Башкортостана.....	17
2.5. Состояние древесных растений, произрастающих на техногенных территориях Южного Урала.....	22
2.6. Основные физико-механические показатели древесины.....	27
2.7. Зависимость физико - механических свойств древесины от интенсивности роста подроста сосны обыкновенной.....	31
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	33
3.1. Характеристика объекта исследований.....	33
3.2. Методика дистанционного зондирования исследуемой территории.....	34
3.3. Анализ и обработка цифровых изображений лесовозобновления.....	38
3.4. Статистическая обработка полевых данных.....	43
3.5. Метод определения средней плотности древесины.....	47
3.6. Анализ генофонда подроста сосны обыкновенной на промышленных отвалах.....	48
ГЛАВА 4. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОСТАВА ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ.....	51
ГЛАВА 5. ХОД РОСТА ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ.....	58
ГЛАВА 6. ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ДРУГИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ.....	67
ГЛАВА 7. АНАЛИЗ ГЕНОФОНДА ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ.....	69
ВЫВОДЫ.....	76
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	91
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	100

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Древесные растения являются эффективным средством снижения загрязнения окружающей среды промышленными выбросами – за счет биоаккумуляции токсикантов, осуществления барьерных функций искусственной или естественной рекультивации техногенных площадей. Потенциальным ресурсом и неиспользованной базой выращивания древесного сырья, запасы которого уменьшаются по мере развития экономики, являются техногенные земли промышленно развитых регионов, к которым относится и Республика Башкортостан. Кроме того, покрытие лесом таких земель уменьшает поступление промышленных токсикантов в окружающую среду. Это доказано многолетними работами лаборатории лесоведения Института биологии УНЦ РАН, другими исследователями с применением морфологических, анатомических, физиологических и биохимических методов (<http://forestry.chat.ru/publ.htm>). Актуальность работы определяется также тем, что в настоящее время недостаточно научных исследований динамики естественного лесовозобновления промышленно загрязненных земель – их естественной рекультивации, также практически нет научных исследований закономерностей формирования физико - механических свойств древесины древесных растений в жестких экологических условиях техногенной среды.

### **Цель и задачи исследования.**

Целью работы является изучение процессов лесовозобновления промышленных отвалов горнодобывающих предприятий Башкирского Зауралья, а также изучение изменчивости древесных растений по физико-механическим свойствам в условиях промышленного загрязнения в Республике Башкортостан.

Для этого необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Полевыми методами изучить ход роста подроста сосны обыкновенной, произрастающего на техногенно загрязненных землях вблизи

предприятий горнодобывающей промышленности (Учалинский горно-обогатительный и Башкирский медно-серный комбинаты гг. Учалы и Сибай);

2. Методами дистанционного зондирования территорий провести изучение пространственного размещения подроста сосны обыкновенной в исследованных объектах.

3. Выявить экологические факторы, определяющие успех естественного лесовозобновления техногенно загрязненных территорий.

4. Провести анализ связи физико-механических свойств древесины особей с различным жизненным состоянием с экологическими факторами обитания, а также взаимосвязь с другими свойствами древесины.

### **Научная новизна работы и теоретическое значение работы.**

Научная новизна работы связана с тем, что впервые изучено пространственное размещение и ход роста подроста сосны обыкновенной в разных экотопах горнодобывающих предприятий Башкирского Зауралья, их физические свойства. Выявлены экологические факторы, определяющие успех естественного лесовозобновления техногенно загрязненных территорий.

**Практическая значимость работы** определяется тем, что произведена оценка перспективности для лесной рекультивации промышленных зон Башкирского Зауралья самозарастания промышленных отвалов подростом сосны обыкновенной. Результаты научно – квалификационной работы могут стать научной основой использования техногенных территорий для содействия естественному возобновлению промышленных отвалов, в том числе для получения древесного сырья для переработки. Они могут быть использованы в образовательном процессе в высшем образовании на направлениях подготовки «Биология», «Экология» и «Лесное дело».

**Апробация работы.** Материалы научно – квалификационной работы доложены и обсуждены на всероссийских и международных конференциях, симпозиумах и съездах: II Международный сборник научных статей «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и

дистанционный мониторинг» (Йошкар-Ола - 2016), XI Международная научно-практическая конференция «Научные исследования: от теории к практике» (Чебоксары - 2017), VII Международная научная конференция «Промышленная ботаника: состояние и перспективы» (Донецк - 2017), II Международной конференции «Пространственно-временная динамика биоты и экосистем Арало - Каспийского бассейна» (Оренбург - 2017).

**Личный вклад автора.** Он состоит в разработке программы НКР согласно задач исследований, в выборе конкретных полевых объектов и методов, в проведении полевых выездов, в статистической обработке результатов исследований, в их сравнении с данными литературы, в написании НКР и ее реферата, апробации результатов. Подготовка публикаций осуществлена самостоятельно или, в случае анализа генофонда подростка сосны обыкновенной, при активном участии автора научно – квалификационной работы (результаты этих исследований приняты в печать в подготовленной совместно рукописи статьи).

**Публикации.** По теме НКР опубликованы 7 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Научно – квалификационная работа состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы и 5 приложений. Общий объем научно – квалификационной работы с приложениями 100 страниц, включая 13 таблиц и 29 рисунков. Приложение включает 6 таблиц. Список литературы содержит 130 наименований, из них 25 зарубежных.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность и огромную признательность д.б.н. А.Ю. Кулагину за руководство при выполнении работы, к.с-х.н. Э.И. Галееву за помощь в полевых исследованиях с применением оборудования для дистанционного зондирования территорий, к.б.н. А.А. Тагировой за совместно проведенные исследования генофонда сосны обыкновенной на промышленных отвалах.

## ГЛАВА 1. ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ (Обзор литературы)

Промышленное загрязнение окружающей среды к настоящему времени достигло угрожающих масштабов. Особенно тяжелыми являются последствия деятельности горнодобывающих предприятий в регионах добычи полезных ископаемых, например, Южного Урала. По официальным данным, в Республике Башкортостан открыты около 3000 месторождений и проявлений 60 видов минерального сырья. Запасы основных металлических полезных ископаемых составляют: медь – 4686,3 тысяч тонн, цинк – 5005,5 тысяч тонн. Здесь с середины прошлого века действуют Учалинский горно-обогатительный комбинат, его филиал в г. Сибай, Башкирский медно-серный комбинат, Бурибаевский горно-обогатительный комбинат, предприятие «Башкирская медь» и др., добывающие в виде концентратов 10-12 % меди и около 50 % цинка всей их добычи в России. Большие масштабы и длительность добычи и переработки руды, открытый способ разработки месторождений привели к существенному загрязнению окружающей среды такими особо токсичными компонентами руд, как медь, цинк, железо, кадмий, свинец, висмут, кобальт, селен, теллур, сера, сурьма, фтор и др. Например, по сравнению с фоновыми значениями, в сточных водах в районе промышленных отвалов цинка и меди больше в 31-102 и 374-6074 раз, соответственно (Белан, 2005). В почвах валовых соединений цинка больше фона в 5-50 раз, меди – до 10 раз. Концентрация подвижных форм Cu в почве доходит до 12 и Zn – до 3,3 принятых предельно допустимых концентраций. Тяжелые металлы, мигрируя по пищевой цепи, представляют угрозу растениям и животным, здоровью человека. По этой причине крайне важны работы по рекультивации таких техногенных территорий. Учитывая высокую стоимость таких работ, в условиях России в лесной зоне перспективно использование естественного зарастания техногенных территорий древесно-кустарниковой растительностью. По этой причине актуальными являются

исследования механизмов адаптации растения к экстремальным условиям среды на техногенных территориях

Многие исследователи доказывают, что древесные растения обладают высоким потенциалом для освоения техногенных территорий. Это позволяет рекомендовать шире использовать естественную лесную рекультивацию загрязненных экотопов. Есть и противники этой точки зрения - считается, что упование на самозарастания – это всего лишь полумера, и то пригодная для специфических лесорастительных условий. Поэтому необходим поиск экономически и экологически обоснованных методов биологической рекультивации (Радостева, Кулагин и др., 2010).

В первую очередь это – землевание площадей грунтами более благоприятного физико-химического состава, способствующего произрастанию древесных растений. Во-вторых, это коренной мелиорация отвальных грунтов (например, создание глинистых «экранов» с землеванием в качестве верхнего слоя). Видимо, такие разногласия возникают по той причине, что техногенные экотопы на отвалах различного происхождения сильно дифференцированы по степени фитотоксичности грунтов, а также по физико-механическим их особенностям. В этой связи оправданы исследования, в результате которых создается классификация отвальных грунтов для биологической рекультивации, т.е. разделение их на пригодные, малопригодные и непригодные (Янбаев, Музафарова, Бахтиярова, 2009). Здесь следует приветствовать использование максимального числа параметров (физических, химических, механических, гранулометрических и т.д.). К непригодным должны быть отнесены грунты с низким или высоким рН, с высоким содержанием токсичных солей в водной вытяжке, имеющие скальную природу и т.д. Но и даже в таких экстремальных условиях древесные растения могут показывать поразительный потенциал для зарастания – здесь уместно упомянуть результаты, полученные при изучении облесения отвалов Коркинского угольного разреза в Челябинской области (Чибрик, Лукина, Глазырина, 2004). Приведем другой пример: образованные

в результате развития горнодобывающей и рудоперерабатывающей промышленности карьеры, отвалы вскрышных пород в Башкирском Зауралье и Предуралье Республики Башкортостан вызывают нарушение устойчивого равновесия в природных экосистемах (Баталов и др., 1989; Хазиев, 2001; Радостева, Кулагин, 2012).

Здесь необходимо проведение мероприятий по сохранению и восстановлению почвенно - растительного покрова (Давыдычев, Кулагин, Зайцев, 2010; Кулагин, 2014). Без рекультивации эти территории представляют собой безжизненные экотопы, приводящие к фрагментации и деградации близлежащих окрестностей (Лукьянец, Шилова, 1979; Кулагин, 2013; Чибрик, 2002).

Проведенный нами анализ литературы показывал следующее: в целях лесной рекультивации техногенных территорий изучается и продвигается широкий набор древесных пород. По этой причине изучение состояния лесов при лесной рекультивации промышленных отвалов относится к важным фундаментальным и практическим исследованиям. Значительные по объему исследования проведены в Республике Башкортостан сотрудниками и аспирантами лаборатории лесоведения Института биологии УНЦ РАН с применением морфологических, анатомических, физиологических и биохимических методов. На отвалах горнодобывающей промышленности оказались успешными посадки не укоренённых черенков и в зонах повышенного увлажнения, что позволит к тому же закреплять эродированные теневые стороны отвалов (Кулагин, 1985; Кулагин, 1977; Кулагин, 1974). Интенсивно исследованы растения семейства *Salicaceae* в формировании техногенных ландшафтов Южного Урала (Баталов и др., 1991).

В условиях промышленных отвалов относительное жизненное состояние насаждений сосны обыкновенной и березы повислой оценивается как «здоровое»; условия произрастания практически не оказывают влияния на динамику радиального прироста стволовой древесины сосны



обыкновенной и березы повислой; в техногенных условиях и в условно контрольных точках уровень подвижных форм металлов сопоставим с валовым содержанием элементов; высокий уровень содержания металлов в почвогрунтах отвалов УГОК определяет повышенный уровень их накопления в органах сосны обыкновенной и березы повислой; под пологом древесных насаждений на отвалах идет формирование почвенного покрова, особенности которого определяются составом и свойством грунтов, видовым составом древесных растений, их возрастом и мозаичностью произрастания; в процессе формирования почвенного покрова на отвалах под пологом лесных насаждений наблюдаются положительные изменения таких параметров как, общий углерод, содержание Р, рН, обменного кальция и магния, что свидетельствует о вкладе насаждений сосны и березы в биологическую рекультивацию промышленных отвалов (Радостева, Кулагин, 2010; Радостева и др., 2011).

Понятие «условия произрастания» включает комплекс следующих факторов: географическая область, высота над уровнем моря, температура, количество осадков, тип леса, положение дерева в древостое и т. д. Выделить влияние одного какого-либо изучаемого фактора не всегда возможно. Если все же говорить отдельно о влиянии климата или почвы, то имеется в виду преобладающее влияние того или иного из этих факторов. Подводя итоги исследованиям зависимости между техническими свойствами древесины и типами леса, А. А. Чеведаев (1951) пишет: «На протяжении последних двухсот лет попытки установить свойства древесины по условиям произрастания не дали желательных результатов». Специалисты в области технических свойств древесины в зависимости от их взглядов на технические свойства древесины и типы леса разделялись на: не придающих значения условиям среды; устанавливающих, что качество древесины улучшается с ухудшением условий среды; устанавливающих, что наилучшие свойства присущи лучшим условиям местопроизрастания. Такого рода разногласия свидетельствуют, как обоснованно отмечает упомянутый исследователь, о

полной неразрешенности данного вопроса, что обуславливает актуальность данной темы.

## **ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН**

### **2.1. Общие физико-географическая характеристика Южного Урала**

Республика Башкортостан находится на востоке европейской части России, в бассейне рек Белой и Урала, между  $51^{\circ}12'$  и  $56^{\circ}30'$  северной широты и между  $22^{\circ}50'$  и  $32^{\circ}$  восточной долготы, так что Башкирия занимает почти весь Южный Урал, кроме узкой полосы на восточном его склоне за р. Уралом. Кроме того республика занимает широкую, простирающуюся с севера на юг, полосу западного Предуралья. Республика принадлежит к числу больших республик России.

Республика Башкортостан имеет разнообразные физико-географические условия. В природном отношении рассматриваемая территория относится непосредственно к двум природным странам: Уралу и Русской равнине. Их особенности освещаются в многочисленных публикациях А.П. Рождественского (1971); В.А. Балкова (1978); Ф.А. Максютова (1982) и др.

Наибольшее протяжение Башкирии с юго-востока на северо-запад - 695 км, протяжение с юга на север достигает 603 км, а с запада на восток - 423 км. С севера к Башкирской республике прилегает Пермская и Свердловская области, с востока - Челябинская область, с юга - Оренбургская область, с запада - республика Татарстан и Удмуртская Республика. Границы Башкирии частью естественные, образованные реками и речками, частью искусственные.

Территория Республики отличается большим разнообразием природных и социально-экономических условий. Здесь заметно прослеживается вертикальная и горизонтальная зональность – от сухой степи до горно-таежной зоны. По комплексу природных условий в пределах

Республики выделяют три зоны: Лесостепную, Степную и Горно–лесную. Здесь значительное развитие получили сельское и лесное хозяйство, горная, нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая и химическая отрасли промышленности, автомобильный, железнодорожный, трубопроводный и воздушный транспорт, городское строительство. По сельскохозяйственному районированию выделяют шесть зон: Северную, Северо-Восточную и Южную (Переходную) лесостепные зоны, Приуральскую и Зауральскую степные зоны и Горно–лесную зону (см. рис. 2.1). В почвенно–эрозионном и агроэкологическом отношении выделяют 12 зон и т.д.

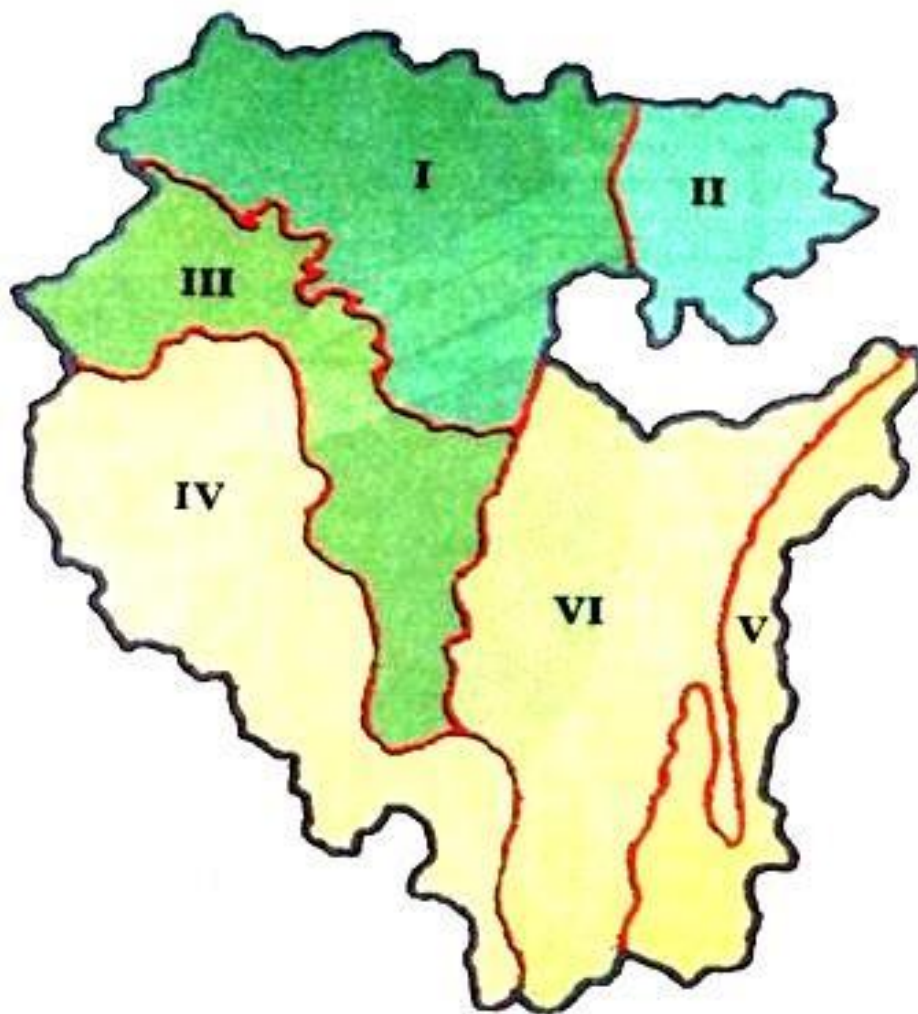


Рис.2.1. Зоны сельскохозяйственного районирования: I – Северная лесостепь, II – Северо–восточная лесостепь, III – Южная переходная лесостепь, IV – Приуральская степь, V – Зауральская степь, VI – Горно–лесная зона.

Данное физико-географическое районирование сыграло свою определенную положительную роль. Вопросы физико-географического районирования непосредственно занимали видное место в исследованиях таких известных географов страны, таких, как Д.Л. Арманд (1983), Н.А. Гвоздецкий (1979), И.П. Герасимов (1976), А.А. Григорьев (1965), А.Г. Исаченко (1965), С.В. Колесник (1970), Ф.Н. Мильков (1956), Н.И. Михайлов (1967, 1971), В.А. Николаев (1999), В.С. Преображенский (1984), В.И. Прокаев (1967, 1973), Г.Д. Рихтер (1961, 1965), Н.А. Солнцев (1968), А.Е. Федина (1973), А. А. Чибилев (1992) и др.

По устройству поверхности Башкирия распадается на три главные части: Уральскую возвышенность (Горная Башкирия), Предуралье (Западная Башкирия) и Башкирское Зауралье. Уральская возвышенность, простираясь севера на юг, занимает большую часть восточной половины республики.

К северу от широтного колена реки Белой Уральская возвышенность носит кряжевой характер, к югу - возвышенно равнинный. К востоку от Уральской возвышенности простирается Зауралье - неширокая полоса увалистых предгорий, а за ней плоская западно-сибирская равнина (75-200 м абсолютной высоты). С запада к Уральской возвышенности примыкает Предуралье - холмистая равнина, составляющая западную половину Башкирии. Левобельская часть этой равнины волнистая и в среднем течении р. Белой имеет общий склон с юга на север, а в нижнем течении на северо-запад.

Невысокие до 460 метров над уровнем моря, возвышенности окаймляют здесь берега рек и, постепенно понижаясь, доходят до р. Белой. На юге Предуралья эти возвышенности представляют собою ряд пологих значительных увалов, в дальнейшем же своем направлении к северу обращаются в высокие междуречные террасы. Правобельская часть Предуралья имеет общий склон от востока к западу, в частности же к рекам Белой и Каме. Северо-восточный угол Предуралья (Месягутовская область)

отличается умеренно-холмистым рельефом. В восточной части Предуралья простирается полоса конгломератов и песчаников, богатых растительными остатками. На западе с последними граничат гипсы, мергеля и песчаники. Все эти породы, чем дальше на запад, тем все моложе и моложе по времени происхождения. Но все они относятся к палеозойской эре, то есть к самым древним эпохам в истории земли.

Все горные породы, слагающие земную кору в пределах Башкирии, имеют различную устойчивость по отношению к размывающей деятельности воды.

## **2.2. Почва и климатические условия Башкортостана**

Башкирия расположена между  $51^{\circ}$  и  $56^{\circ}$  северной широты и  $22^{\circ}$  и  $30^{\circ}$  восточной долготы. Для РБ характерен континентальный климат, особенностью которого является наличие двух резко отличающихся периодов: теплого с положительными и холодного с отрицательными температурами и образованием устойчивого снежного покрова.

На севере республики средняя годовая температура  $0,8^{\circ}$  (Красноуфимск, находящийся недалеко от северной границы Башкирии,  $0,8^{\circ}$ ), в средней ее части  $-2,7^{\circ}$  (Уфа  $2,7$ ) и на юге  $-3,9^{\circ}$  (Оренбург, находящийся близ южной границы,  $3,9^{\circ}$ ). В Уфе выпадает осадков 538 мм в год, а в Оренбурге 343 мм. Таким образом, двигаясь по республике с севера на юг, мы попадаем в страны более теплые, но и более сухие (Тайчинов, 1960; Тайчинов, Бурангулова, Бахтизин, 1973). Но климат изменяется и по направлению с запада на восток, по мере удаления от океана к середине Европейско-Азиатского материка: он становится суше, разница между холодным временем и теплым резче; в Башкирии эта разница усиливается влиянием Уральской возвышенности, отделяющей более влажный и более мягкий климат Предуралья от более сухого и сурового климата Зауралья.

Крупные отличия в климате от равнин Предуралья и Зауралья имеет Уральская возвышенность, поднимающаяся на 600 - 1600 метров над уровнем моря и от 200 до 1000 и более метров над окружающими равнинами.

Благодаря сравнительно небольшой высоте над уровнем моря, на вершинах Уральской возвышенности нет вечного снега, но в высоких долинах не вызревают хлеба, а на вершинах Ирмея, Яман-тау и др. не растет лес от суровости климата (альпийская область). В Златоусте небо постоянно затуманено тучами, ясных дней мало по сравнению со степью. И вследствие этого испарение незначительно. Поэтому лесная растительность по Уральской возвышенности далеко проникает на юг, когда окружающие более низкие местности безлесны. Уральские леса окружены полосой лесостепей, а за нею далее - тучной черноземной полосой; далее всего от гор располагается сухая степь.

Таким образом, картина климата Башкирии сложна. В пределах Уральской возвышенности климат горных кряжей отличается от климата долин, климаты разных склонов различны. В лесостепи леса занимают непосредственно склоны, направленные к склону, так как склоны, обращенные на юг, сухи, вследствие более сильного освещения и нагревания. В Приуралье в долинах зимы суровее, а лета жарче и суше, чем на окружающих их возвышенностях.

Почвы Башкирии разнообразны, вследствие разнообразия поверхностных горных пород на территории республики, разнообразия ее рельефа и климата. Уникальность его заключается в том, что здесь четко проявляются открытые В.В. Докучаевым законы горизонтальной зональности распределения почв на равнинной территории Предуралья и Зауралья, а также в вертикальной поясности - на Южном Урале, где распространен почти весь генетический спектр почв (Хазиев, 2001). Выявлены местные особенности почв, исследованы их агропроизводственные, химические и биологические свойства. Подтверждены установленные Д.В. Богомолым региональные особенности генезиса почв (Богомол, 1954). С.Н. Тайчиновым разработано агропочвенное районирование республики, включая агропроизводственную характеристику почв каждого района (Тайчинов, 1960).

В Башкирском Предуралье наиболее широкое распространение имеют черноземные почвы (42,6% от общей его площади). Среди них преобладают выщелоченные и тучные черноземы (26,1 %), несколько меньший удельный вес занимают карбонатные и слабооподзоленные (деградированные) (15,9 %), и сравнительно редко встречаются обыкновенные и солонцеватые черноземы. Черноземы характеризуются высоким содержанием гумуса (10-12 %) при небольшой мощности гумусового горизонта. Они богаты азотом, фосфором, калием и микроэлементами, потенциальное плодородие у них высокое (Хазиев, 2011).

На территории РБ выделяют 6 подтипов черноземов с множеством видов и разновидностей: оподзоленные, выщелоченные, типичные, типичные остаточно-карбонатные, обыкновенные и южные. Почти третью часть территории Башкирии занимает Южно - Уральская Горно-лесная зона. Около 40 % территории республики покрыто лесами.

Генетически однотипные почвы Зауралья имеют отличительные черты от аналогичных почв Предуралья, обусловленные различиями условий почвообразования: особенности почвообразующих пород, преимущественно карбонатных и засоленных, засушливость климата, преобладание в фитоценозах степных видов и т.д. Эколого-генетические особенности, свойства, химические особенности почв Зауралья подробно описаны в работах Бурангуловой М.Н. и Мукатанова А.Х.

В почвенном покрове Зауралья преобладают черноземы. В северной части зоны и в полосе расчлененных предгорий (Баймакский район) распространены непосредственно небольшие массивы серых лесных почв (Хазиев, 2011). Особенностью черноземов Зауралья является скопление карбонатов мучнистой формы, встречаются и остаточнокорбонатные. А также встречается потековато-языковатый профиль, которое определяется засушливостью климата и тяжелым механическим составом почв и пород.

### **2.3. Растительность Башкортостана**

По своим природным признакам, такие как климат, рельеф, почва – Башкирии делится на 4 природные зоны. В табл. 2.1 дана характеристика климата и почв природных зон республики. Основным климатическим показателем, который определяет характер растительности, является количество осадков. В Горно–лесной зоне возрастает роль режима температуры, особенно продолжительности безморозного периода, который в горах уменьшается до 90 дней, но на равнине составляет 110-120 дней (Миркин, 1999; Черненко, 2002).

Таблица 2.1

## Климат и почвы природных зон Республики Башкортостан

Параметр	Природная зона			
	Лесная	Лесостепная	Степная	Горно - лесная
Среднегодовая сумма осадков, мм	550-600	450-550	300-450	550-700
Сумма осадков за летний период, мм	225-250	200-300	150-250	200-300
Почвы	Светло-серые лесные	Серые лесные	Черно - земные	Горные неразвитые

Кратко охарактеризуем особенности растительности разных природных зон.

1. Лесная зона. Занимает северную часть равнинного Предуралья. Хвойно-широколиственные леса к югу сменяются широколиственными (дуб, липа, клен и др.) лесами. Леса в значительной степени вырублены и замещены сельскохозяйственными землями.

2. Лесостепная зона. Эта зона занимает большую часть Предуралья. Также как и лесная зона, она в основном освоена в пашню, естественная растительность представлена небольшими участками широколиственных лесов, лугов и степей.



3. Степная зона. Занимает большую часть Зауралья и представлена в южной части Предуралья. Все удобные для пахотного использования земли заняты сельскохозяйственными культурами. Степи сохранились по склонам гор и увалам. В самой южной части на солонцовых и солончаковых почвах распространены галофильные сообщества.

4. Горно–лесная зона. Это зона с самой разнообразной растительностью, которая сформировалась под влиянием вертикальной поясности. Лесной пояс на западном склоне представлен широколиственными лесами, на восточном – сосново-березовыми лесами.

Разнообразие растительности повышается за счет речных пойм Белой, Уфы, Демы и других рек, где под влиянием паводкового режима получают распространение пойменные леса из тополя и ивы и луга. С озерами и реками связаны сообщества гидрофитов (водная растительность) и гигрофитов (прибрежно-водная растительность), небольшую площадь занимают болота.

Растительность Башкортостана существенно изменена под влиянием человека. Значительная часть хвойных и широколиственных лесов заместила вторичными мелколиственными лесами (с березой, осиной, ольхой серой) и лугами. Под влиянием выпаса произошло обеднение видового состава степей и лугов, а в результате рекреации – пригородных лесов. Развитие земледелия привело к резкому сокращению площади степей и формированию агроценозов, в которых возделываемые культуры сочетаются с сеgetальными сорными растениями.

#### **2.4. Промышленное загрязнение экосистем Башкортостана**

Возникновение и развитие промышленности в Республике Башкортостан обусловлено наличием в республике природных и людских ресурсов, её историей и расположением, наличием дорог. В недрах республики имеются месторождения нефти, газа, угля, железной руды, золота, меди и др. Ещё не все скрыты горы-шиханы на производство соды.

Освоение природных ресурсов на территории РБ проходило с железного века (Башкирская энциклопедия, 2010). Строительство горных заводов — с 18 века. В 1700 году здесь был основан первый горный завод (Башкирская энциклопедия, 2007). В 19 веке в республике действовали кожевенные, суконные, кирпичные, мыловаренные, салотопенные, свечные, клеевые, воскобойные, маслобойные, винокуренные предприятия. Согласно постановлению СНК СССР 1930 г. «О развитии промышленности БАССР», к 1934 г. основные промышленные и производственные фонды увеличились в 2,5 раза, выпуск продукции в 2,3 раза.

Во времена Гражданской войны промышленная отрасль Башкортостана, перенесла огромнейшие потери. Колчаковцы непосредственно вывозили промышленное оборудование, станки, транспорт, запасы меди, затопили шахты, рудники, взорвали и сожгли предприятия. Был взорван железнодорожный мост через реку Белая около Уфы. К концу Гражданской войны стояли 810 мукомольно-крупяных, 87 из 116 кожевенных предприятий. Прекратили свою работу разные заводы: винные, лесопильные. В 20-е годы промышленность Башкирской АССР состояла в основном из отраслей, связанных с переработкой сельскохозяйственной продукции (винные, кожевенные, мукомольно-крупяные предприятия) и кустарной промышленности (транспортные средства, тара, товаров быта). Проходило восстановление разрушенного производства. В 30-е- начало 40-х годов XX века принимались постановления «О развитии промышленности Башкирской АССР» (1930). Были открыты крупные месторождения нефти (Азнаевское нефтяное месторождение, Ишимбайское месторождение, Югомашевское нефтяное месторождение, Серафимовское нефтяное месторождение и др.). Развитие промышленности являлось побудительным мотивом строительству в республике дорог. Так для освоения Ишимбайского нефтяного месторождения в 1934 году была построена железная дорога Уфа — Ишимбай, позднее она была продолжена

до Салавата и далее для обеспечения строительства Салаватского нефтехимического комбината (Башкирская энциклопедия, 2008).

В Башкирской АССР для переработки нефти до начала войны были построены такие заводы, как: Ишимбайский нефтеперегонный завод, Уфимский крекинг-завод, нефтепровод Ишимбай — Уфа. Для снабжения предприятий электроэнергией были непосредственно построены Уфимская ЦЭС, Ишимбайская ЦЭС, Уфимская ТЭЦ № 1, Уфимская ТЭЦ № 2 и др. Принятые меры по развитию промышленности в БАССР сделали многоотраслевую промышленность республики важной военно-промышленной базой СССР. В годы Великой Отечественной войны в Башкирию были эвакуировано около 200 предприятий (36 в Уфу) из других районов СССР, которые продолжали работать в республике (Аюпов, 1993). Основной продукцией предприятий было топливо, снаряды, вооружение, одежда. В советские годы развитие промышленности в БАССР проходило в соответствии с решениями партии, постановлениями её пленумов (химизация народного хозяйства) по пятилетним и семилетним срокам в соответствии с нуждами государства и республики (Некрасов, 1955; Савинский, 1972; Филиппова, 1967). Менялась организация промышленности (от местного управления к централизованному и наоборот) — от Совнаркомов к министерствам, обратно к СНК и опять в министерства. Объявлялись всесоюзными ударными комсомольскими стройками строительство комбината №18 в городе Салавате, создание Шпаковского нефтеносного района.

С развалом СССР происходил спад в промышленности республики. Переход к капитализму в республике сопровождался овладением государственными предприятиями эффективными менеджерами и воздействием на отрасли регулярно повторяющимися кризисами (1998, 2008, 2015). В 2018 году индекс промышленного производства в РБ составил 103,5 %, то есть 7-е место среди регионов Приволжского федерального округа (отчет по региональному сравнению за январь-февраль 2019 года). В

настоящее время промышленные предприятия РБ формируют 40 % ВРП, 25 % рабочих мест (см. рис.2.2).

Башкортостан славится разнообразными полезными ископаемыми – это горючие (нефть, природный газ, уголь, торф), металлические, или рудные (железо, медь, марганец, алюминий, хром), неметаллические (каменная соль, известняк, гипс, фосфориты, глины и пески строительные, поделочные камни), а также подземные воды. Распределение полезных ископаемых связано с геологической историей и, соответственно, с глубинным строением территории. В Западном Башкортостане в осадочных породах распространены горючие и неметаллические полезные ископаемые.

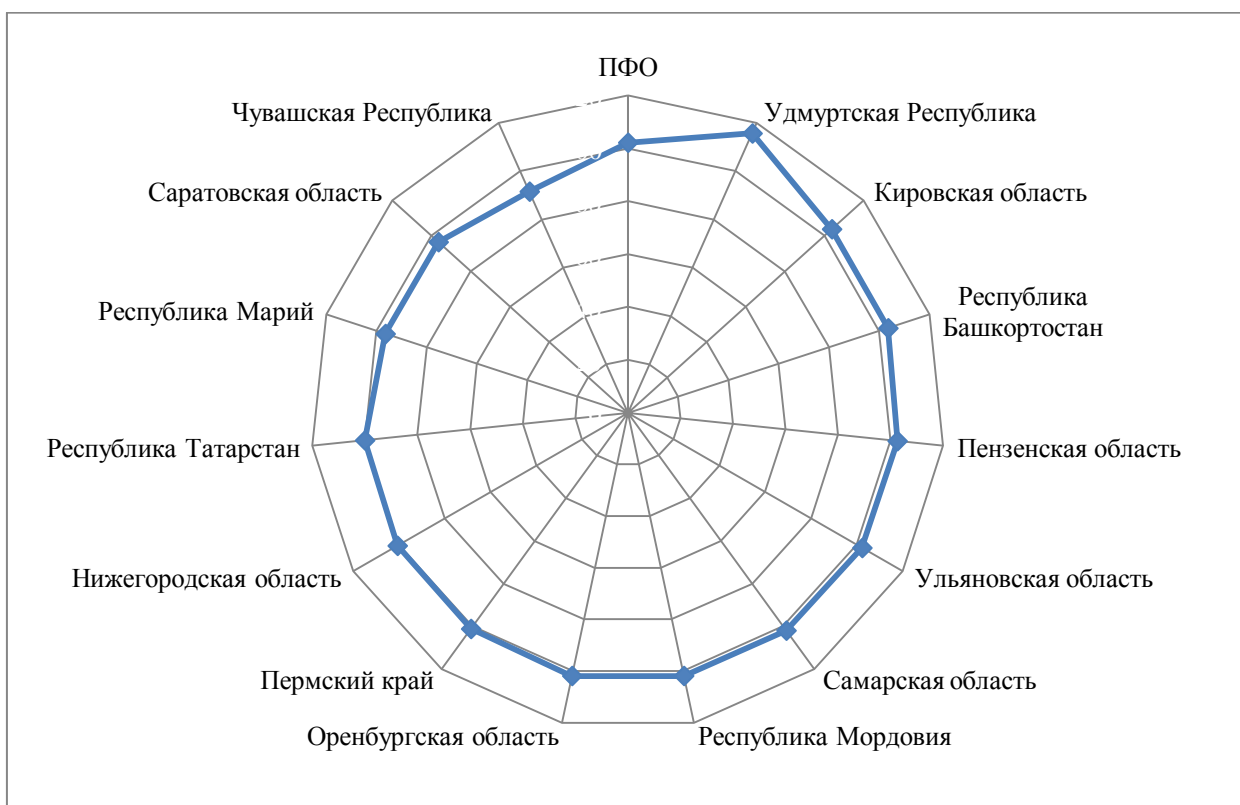


Рис.2.2. Индекс промышленного производства (январь-февраль 2019 года, в % к январю-февралю 2018 года)

В Горном Башкортостане и в Башкирском Зауралье преобладают рудные полезные ископаемые магматического и метаморфического происхождения. Горючие полезные ископаемые Нефть является наиболее

важным полезным ископаемым республики. Нефтяные залежи приурочены к погребенным рифовым массивам пермского возраста. Эти месторождения образуют Ишимбайский нефтяной район. Наиболее распространены залежи бурого железняка. Они группируются в нескольких железорудных районах. Крупнейшим из них является Зигазино–Комаровский. В нем известно более 30 месторождений. Руды приурочены к коре выветривания пород протерозоя. Они залегают близко к поверхности и доступны для разработки открытым способом. Наиболее крупным месторождением этого района является Туканское. Здесь в карьере близ поселка Тукан производится добыча железных руд. Они транспортируются по железной дороге на Белорецкий металлургический комбинат. Марганцевые руды известны на западном и восточном склонах Южного Урала.

На западном склоне руды марганца встречаются в каменноугольных и пермских отложениях Архангельского, Дуванского и других районов. Промышленное значение здесь имеет Улу–Телякское месторождение. На Восточном склоне руды марганца известны в девонских отложениях Учалинского, Абзелиловского, Баймакского, Хайбуллинского районов. Наиболее крупное месторождение Учалинского района - Кожаевское, расположенное в 55 км к югу от станции Миасс. Содержание марганца в рудах этого месторождения достигает 25%. В Абзелиловском районе наиболее крупным месторождением является Ниязгуловское, а в Баймакском - Губайдуллинское. В Башкортостане насчитывается свыше 100 мелких месторождений хромитовых руд, расположенных в Учалинском, Белорецком и Бурзянском районах. В Учалинском районе наиболее значительное месторождение Красовское, а в Бурзянском – Башартовское. Рудные залежи известны в нескольких рудных районах – Учалинском, Баймакском, Бурибаевском, Сибайском. Отметим такие месторождения меди, как Маканское, Сибайское, Учалинское, Юбилейное, Октябрьское. Основная добыча медных руд производится открытым способом в Учалах, Сибаете, Бурибае. При переработке кроме меди из руд извлекаются цинк, сера, золото,

серебро и другие элементы. С медноколчеданными связаны и серноколчеданные залежи. Они разрабатываются и используются в нашей промышленности, а также экспортируются за границу.

Сегодня Башкортостан является непосредственно крупным индустриальным центром, производящим 3% общероссийского объема валового регионального продукта (ВРП). Не подвергается сомнению, что Башкортостан как индустриально-аграрная республика, являющаяся одной из наиболее экономически развитых регионов России, имеет значительное влияние на экономику страны. Богатый запас топливных ресурсов, крупная доля промышленности, сельского и лесного хозяйства, большие запасы полезных ископаемых, которыми обладает Башкортостан в стране, чья экономика ориентирована на добывающую промышленность, превращают республику в один из самых важных и значимых субъектов. Россия – это страна, бюджет которой в значительной степени пополняется за счет экспорта нефти и газа. Отсюда следует, что экономика республики одна из главных составляющих всей экономики страны.

## **2.5. Состояние древесных растений, произрастающих на техногенных территориях Южного Урала**

Республика Башкортостан занимает площадь более 143 тыс. кв. км, ее территория подразделяется на западную (платформенную) и восточную (складчато – сбросовую) области. Для региона характерно наличие трех природных провинций: Предуралья, Южного (горного) Урала и Зауралья. Около 2/3 территории республики приходится на Предуралье (юго-восточная окраина Восточно-Европейской равнины), Южные отроги Уральских гор занимают более 1/4, менее 1/10 – Зауралье (Музафарова, 2003), на территории которого проведены наши исследования.

Район исследований расположен в Предуралье и Зауралье Республики Башкортостан. Естественная растительность, формирующаяся на промышленных отвалах, а также участки, на которых проводилась лесная

рекультивация оценивались с точки зрения формирования растительного покрова. Выбор участков, закладка и описание пробных площадей проводилось с учетом общепринятых методических подходов (Алексеев 1989; Алексеев, 1990). В этих регионах действуют Учалинский горнообогатительный комбинат (УГОК), Башкирский медно-серный комбинат БМСК, ныне включенный в состав УГОК и переименованный в Сибайский филиал УГОК (далее для удобства обозначаем как БМСК, так как основные техногенные исследуемые нами территории образованы именно им), специализирующиеся на добыче, обогащении медноколчеданных руд и являющиеся одними из основных поставщиков концентратов медноколчеданных руд металлургическим предприятиям, Кумертауское месторождение бурого угля (КБР) расположено в пределах подзоны южной лесостепи Предуралья. Рассмотрим каждый из них.

Кумертауское месторождение бурого угля (КБР) расположено непосредственно в пределах подзоны южной лесостепи Предуралья. (Кулагин, 2015). Бурые угли залегают в толще песчано-глинистых осадочных пород, поэтому промышленные отвалы практически не содержат токсических соединений, за исключением незначительных площадей засоленных участков (Кулагин, 1998). На отвалах (КБР) была проведена рекультивация и созданы лесные культуры (Радостева, Кулагин, 2011). В условиях (КБР) в сосновых насаждениях выявлены морфологические признаки процесса почвообразования. В верхнем слое 0-2 см окраска мелкозема темнее, чем в слое 2-20 см (желто-бурая). В березняке почвообразовательный слой составляет 0-8 см. Это объясняется тем, что опад лиственной породы быстрее включается в процесс разложения (Работнов, 1992). В условиях отвалов на начальных стадиях почвообразования ведущую роль играют процессы биологической аккумуляции (происходит перекачка фосфатов корневыми системами растений из нижележащих слоев формирующихся почв и накопление их в верхних частях горизонта, так как фосфор отвечает за плодородие почвы (Махонина, 1979). Насаждения сосны

и березы в условиях (КБР) произрастают на ровных участках, где накопление гумуса составляет 1,14 % и 3,97 % соответственно. Разницу в накоплении гумуса можно объяснить тем, что в хвойном насаждении опад очень медленно подвергается процессам разложения из-за химического состава и механической прочности (Работнов, 1992). Состояние насаждений, произрастающих на отвалах Кумертауского буроугольного разреза характеризуется как «ослабленное». В целом лесобиологическая рекультивация буроугольных отвалов представляется перспективным направлением. Это особенно актуально с учетом расположения Кумертауского месторождения в лесостепной зоне (Ведерников, 2001).

Башкирское Зауралье – один из основных поставщиков концентратов медно –цинкоколчедановых руд металлургическим предприятиям. Основным разработчиком месторождений в этом регионе является Учалинский горно – Обоганительный комбинат (УГОК) и его Сибайский филиал (СФ УГОК). На СФ УГОК перерабатываются серные, медные, медно-цинковые, сплошные и вкрапленные колчедановые руды. Медно–колчедановые руды содержат медь, цинк, золото, серебро, железо, серу и ряд других редких металлов. В качестве сопутствующих элементов постоянно присутствуют такие вредные элементы-примеси, как мышьяк, сурьма, ртуть, фтор и другие (Фаизова и др., 2011; Тагирова, Рыжова, Кулагин, 2018). Сибайский карьер расположен в юго-западной части города, с северной и восточной стороны граничит с жилой зоной. Медная, медно-цинковая и серная руда добываются открытым способом в карьере при помощи буровзрывных работ, с погрузкой руды и вскрышных пород экскаваторами в автомобильный транспорт.

Основными «производителями» отходов являются горнодобывающие и перерабатывающие предприятия. Наиболее проблемные виды отходов – вскрышные породы и хвосты обогащения СФ УГОК. К настоящему времени накоплено 38069 тыс. хвостов обогащения. Они образуют техногенные месторождения полезных ископаемых и одновременно являются опасными источниками загрязнения окружающей среды. Так, в хвостохранилищах



Сибайской обогатительной фабрики твердая фаза пульпы содержит меди 0,1-0,6 %, цинка – 0,2-0,9 %, серы – 27-40 %, железа – до 45 %, песка – 10 % (Семенова, Рафикова, Ильбулова, 2011). Несмотря на значительные концентрации нужных металлов в отвалах, переработка их не ведется, зато происходит их фильтрация в подземные водоносные горизонты и в почву, прилегающую к накопителям.

Почвообразовательный процесс на пробных площадях (как в насаждениях березы, так и сосны) не наблюдается. В данном отвале расположение древесных пород редкое, так как отвалы СФ УГОК сильнокаменистые, представлены крутыми склонами, которые подвержены водной и ветровой эрозии (Радостева, Кулагин, 2011). Здесь благоприятным условием для почвообразовательного процесса является микро понижение, где произрастает одиночная сосна обыкновенная (накопление гумуса составляет 5,54 %). Содержание фосфора в условиях КБР выше, чем на отвалах СФ УГОК. Это объясняется тем, что на отвалах бурогоугольного разреза насаждения (как сосны, так и березы) представляют собой сомкнутые культуры, в отличие от условий СФ УГОК (Радостева, Кулагин, Суюндуков, 2010).



Рис. 2.3. Успешное возобновление отвалов в районе Учалинского горно-обогатительного комбината

На отвалах УГОК (Учалинского горно-обогатительного комбината) насаждения сосны обыкновенной и березы повислой относятся к категории «здоровые». Установлена определенная зависимость видового состава древесных растений при лесовозобновлении промышленных отвалов от состава близлежащих насаждений – источников поступления семян около БМСК и в районе расположения УГОК. Другая закономерность – относительно четкая зависимость успешности лесовозобновления от приуроченности к сторонам света (Музафарова, 2003). К восточной стороне отвалов УГОК примыкают березовые и сосновые насаждения, которые являются мощным источником поступления семян и эффективной естественной рекультивации отвалов. На южной стороне отвалов и в районе БМСК и в УГОК лесовозобновление затруднено и встречаются в основном редкий подрост березы (видимо, здесь лимитирующим фактором выступает

интенсивность инсоляции, приводящая к перегреванию грунтов). В зоне деятельности УГОК пространственное распределение подроста также сильно зависит от местоположения (Гатин, Музафарова, Кулагин, 2006). Лесовозобновление происходит преимущественно по краям отвалов всех экспозиций, кроме южного, где численность подроста относительно низка. Наблюдается более равная представленность разных возрастных групп подроста и молодняка. В целом состав пород на восточной окраине отвалов, как установлено нами на примере 10 пробных площадей, Сосна - 73.9 %; Береза - 22.1% (Галеев и др., 1998).

Экологические проблемы, вызванные деятельностью горно-обогатительных комбинатов, обусловлены как составом перерабатываемых руд и горных пород, так и технологией их добычи и обогащения. Комплексный характер данных проблем проявляется во включении в техногенные миграционные потоки всех основных цепей распространения токсикантов, в том числе и тяжелых металлов. Наиболее осязаемое загрязнение окружающей среды связано с развеиванием и размыванием хвостохранилищ обогатительных фабрик, отвалов руды и рудовмещающих пород, образующих интенсивные потоки рассеяния в водные системы и локальные ареалы рассеяния в почву. Значительную долю в потоке поллютантов составляют пылегазовые выбросы в атмосферу в процессе обогащения руды и пылевые выбросы при открытых горных разработках, загрязняющие атмосферу и приводящие к конкретным техногенным аномалиям почв.

## **2.6. Основные физико-механические показатели древесины**

Древесина – это волокнистый материал с ярко выраженной анизотропией. У всех пород древесины механические характеристики очень отличаются поперек и вдоль волокон. Более распространенное определение – это внутренняя часть дерева, т.е. лежащая под корой. Древесина состоит из клеток, различных по форме и размерам, но тесно сросших между собой.

Изначально (в молодых побегах) клетка дерева отличается довольно высокой эластичностью, а ее оболочка легко пропускает воду. Со временем прочность оболочки значительно увеличивается, а влагопроницаемость уменьшается.

Основные анатомические части ствола легко обнаружить на его поперечном разрезе. Наружная часть – кора резко отличается по внешнему виду от внутренней части – древесины, занимающей наибольший объем ствола. Древесина окружает небольшую центральную зону – сердцевину. Расположенный между древесиной и корой слой камбия для простого глаза незаметен (рис.2.4).

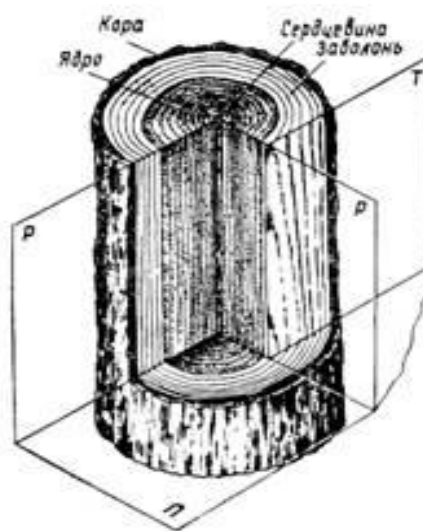


Рис.2.4. Основные части ствола и главные разрезы: П – поперечный, Р – радиальный, Т – тангенциальный.

Из древесных пород ядро имеют: хвойные – сосна, лиственница, кедр; лиственные – дуб, ясень, ильм, тополь. Спелодревесными породами являются из хвойных ель и пихта, из лиственных бук и осина. К заболонным породам относятся лиственные: береза, клен, граб, самшит. Однако у некоторых без ядровых пород (береза, бук, осина) наблюдается потемнение центральной части ствола. В этом случае темная центральная зона называется ложным ядром. Молодые деревья всех пород не имеют ядра и состоят из заболони. Лишь с течением времени образуется ядро за счет перехода заболонной древесины в ядровую.

К основным физическим свойствам древесины относятся ее плотность, влажность, стойкость к коррозии (то есть способность противостоять действию агрессивной среды).

Влажность древесины, которое является показателем ее качества и долговечности. На практике различают древесину: комнатно-сухую, с влажностью 8–12 %; воздушно-сухую искусственной сушки, с влажностью 12–18 % (эти два вида древесины получают путем сушки пиломатериалов в сушильных камерах); атмосферно-сухую естественной сушки, с влажностью 18–23 % (получают в результате продолжительного хранения лесоматериалов, уложенных штабелями на прокладках в сухих, проветриваемых помещениях или под навесом, без допуска воздействия прямых солнечных лучей), влажную древесину, с влажностью более 23 %. Чем меньше показатель влажности древесины, тем меньше она подвержена гниению.

Коррозия древесины – это разрушение древесины под воздействием внешней агрессивной среды. Коррозия древесины может протекать с различной скоростью. Скорость коррозии (разрушения) древесины зависит от факторов окружающей среды: биологических (поражения различными микроорганизмами, насекомыми, грибами и т.п.); климатических (влияние влажности воздуха, ультрафиолетового излучения, колебаний температуры, кислорода воздуха, осадков).

Следует отметить, что хвойные породы более стойки к коррозии по сравнению с лиственными, поскольку хвойная древесина пропитана природными смолистыми веществами (Коршевер Н.Г., 2008).

Плотность древесины характеризуется отношением его массы к объему. Измеряется плотность в килограммах на метр кубический или в граммах на сантиметр кубический. Плотностью древесинного вещества называется отношение массы к объему клеточных стенок. Так как элементный химический состав древесины практически одинаков для разных пород, то и плотность древесинного вещества примерно одинакова для всех

пород. Она в среднем равна 1,53 г/см<sup>3</sup>. Плотность древесины зависит от влажности и для сравнения значения плотности всегда приводят к единой влажности, которая составляет 12 %.

Между плотностью и прочностью древесины существует тесная связь. Чем больше толщина клеточных стенок, тем больше плотность и, следовательно, прочность древесины. Пористость древесины определяется объемом внутренних пустот (полостей клеток, межклеточных пространств) и выражается в процентах от объема древесины в абсолютно сухом состоянии. Пористость зависит от плотности древесины: чем больше плотность, тем меньше пористость древесины. Значение пористости колеблется в пределах от 40 до 77 %.

Механические свойства характеризуют способность древесины сопротивляться действию усилий. К механическим свойствам древесины относятся прочность и деформативность, а также некоторые эксплуатационные и технологические свойства.

Прочность – способность древесины сопротивляться разрушения под действием механических усилий; характеристикой ее является предел прочности – максимальное напряжение, которое выдерживает древесина без разрушения. Показатели пределов прочности устанавливают при испытании древесины на сжатие, растяжение, изгиб, сдвиг и редко при кручении.

При этом предел прочности древесины на сжатие и растяжение при направлении нагрузки вдоль волокон значительно выше, нежели при направлении нагрузки поперек волокон (Коршевер Н.Г., 2008). Механическая прочность древесины зависит от ее физических свойств: увеличение влажности снижает прочность, а плотная древесина более прочна, чем легкая и рыхлая.

Твердость древесины обусловлена ее способностью сопротивляться внедрению инородных тел. По этому признаку древесину разделяют на твердую – бук, дуб, клен, ясень, вяз, лиственница (самые твердые – самшит и акация) и мягкую – липа, ель, сосна, ольха (Коршевер Н.Г., 2008). Твердость

определяет еще одно механическое свойство древесины – ее износостойкость, способность противостоять трению. Здесь имеется прямая взаимосвязь: чем тверже древесина, тем выше показатель ее износостойкости. Показатели физико-механических свойств древесины связаны с ее плотностью. Так, по высоте ствола плотность древесины уменьшается в направлении от комля к вершине. По радиусу ствола свойства также меняются. На плотность древесины оказывает влияние форма ствола и характер развития кроны.

## **2.7. Зависимость физико - механических свойств древесины от интенсивности роста подроста сосны обыкновенной**

Годы жизни деревьев умеренных и холодных широт можно определить по поперечному спилу их стволов, посчитав годичные кольца (годовые слои). Такой слой, как правило, соответствует приросту древесины за один вегетационный период. Древесина, рождающаяся весной и в начале лета, заметно отличается от более поздней, появляющейся в конце лета и осенью. Когда дерево только начинает вегетировать, то в древесине образуется много широкопросветных сосудов. Осенью сосуды формируются узкие, а сама она становится более плотной и темной. Обычно переход от ранней древесины к поздней постепенный, зато переход от поздней к ранней прослеживается довольно четко, и границы между ними хорошо видны невооруженным глазом. Каждому кольцу, как правило, соответствует один год. Хотя иногда возникают так называемые ложные кольца. Это происходит в том случае, если из-за неблагоприятного лета (засуха или холод), оно начинает вегетировать осенью.

Механические свойства сосны с возрастом увеличиваются, но влияние возраста сказывается в разной степени на различные свойства; так, для сопротивления древесины сосны скалыванию и раскалыванию зависимости

от возраста не обнаружено. Как видно из таблицы, ширина годичных слоев с возрастом убывает, а прочность при статических нагрузках увеличивается. Наиболее резкое увеличение не только прочности, но и удельной работы при ударном изгибе сосны наблюдается при переходе из I класса возраста во II (увеличение для разных свойств 25 — 35 %); в дальнейшем увеличение свойств идет медленнее.

Таблица 2.5

## Влияние возраста на физико-механические свойства древесины

Порода	Возраст, лет	Средняя ширина годичных слоев, мм	Плотность	Предел прочности (кг/см <sup>2</sup> ) при	
				Сжатию	Статическом изгибе
Сосна обыкновенная	15	2,9	0,39	316	555
	28	2,1	0,43	433	754
	55	1,7	0,47	462	809
	75	1,5	0,50	486	905

Физико-механические свойства древесины с возрастом повышаются до некоторого предела, достигают максимума и при дальнейшем стоянии дерева на корне начинают снижаться. В перестойных деревьях периферическая зона ствола, как показывают наблюдения, состоит из очень узких годичных слоев с пониженным содержанием поздней древесины; вследствие этого физико-механические свойства древесины оказываются заметно сниженными, что влечет за собой понижение и средних свойств древесины всего ствола. Все это подтверждается имеющимися (косвенными) экспериментальными данными для древесины сосны из северных районов РСФСР. Согласно этим



данным, физико-механические свойства древесины сосны достигают максимума в возрасте 150—200 лет, после чего следует снижение; в возрасте 260—280 лет плотность падает на 8—10%, содержание поздней древесины на 16—18%, прочность при сжатии вдоль волокон на 8%, удельная работа при ударном изгибе — на 6—7%.

## ГЛАВА 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### 3.1. Характеристика объекта исследований

Сосна обыкновенная распространенным лесообразователем исследованного региона. У них детально изучена адаптация к техногенному загрязнению с использованием лесоводственных, морфолого-анатомических, физиологических и биохимических методов (Кулагин, 1985). Кроме того, генетическая структура природных популяций этих видов исследована также подробно (Янбаев и др., 2009), что позволяет использовать ее в качестве своеобразной «точки отсчета». Дополнительным аргументом в пользу их выбора в качестве объектов исследований было то, что именно эти два вида доминируют среди древесных на техногенных территориях.

Сосна обыкновенная (*Pinussilvestris* L.) относится к семейству сосновых (*Pinaceae*). Род сосна (*Pinus*) насчитывает 12 видов, произрастающих в России (Атрохин, 1982). Распространена почти на всей территории Европы. В России произрастает везде, за исключением степной области юга. Дерево первой величины высотой от 20 до 40 м, в зависимости от почвенных и климатических условий. Продолжительность жизни 300-500 лет и более. Крона у молодых деревьев коническая, у старых – ширококруглая или зонтичная. Ствол сосны, растущей в сравнительно сомкнутых насаждениях, стройный, прямой, ровный, высоко очищенный от сучьев, в изреженных древостоях или на просторе дерево менее высокое, ствол сбежистый и более суковатый. Хвоя короткая, расположена по две (иногда три) хвоинки в пучке. Хвоя ушколинейная, остроконечная. Мужские колоски расположены у основания весеннего побега. Красноватые женские соцветия-шишки помещаются на верхушке весенних побегов. Кора деревьев сосны бороздчатая, темновато-бурого цвета. У старых деревьев кора приобретает плитчатый вид с глубокими продольными и поперечными трещинами. Цветение происходит в мае-июне. В начале следующего лета совершается оплодотворение. К ноябрю созревают семена. От начала цветения до поспевания семян проходит 18 месяцев. В марте – июне шишки

раскрываются и семена выпадают. Размножается только семенами. Плодоносит на свободе в возрасте 10-15 лет, а в насаждении после 40 лет. Всходы появляются через 2-3 недели после посева. Развивается побег до 4-10 см в первый год с одиночно расположенной хвоей, имеющей по краям зубчики. У двухлетних всходов хвоя собрана в пучки попарно. На третий год появляется первая мутовка, по которой в дальнейшем определяют возраст дерева. До 30 лет на богатых почвах сосна растет быстро, образуя в год побег 80-100см. К 50 годам прирост снижается. К 100 годам высота дерева достигает 30-35 м. Морозоустойчива, засухоустойчива, не прихотлива к почвенно-грунтовым условиям. К влажности почв и богатству их питательными веществами сосна нетребовательна. Очень светлюбивая порода, плохо растущая в условиях затенения. В Башкортостане (общая площадь 716.2 тыс.га) в основном распространена в Горно-лесной зоне. В восточной части Башкирского Зауралья образует вместе с березой повислой смешанные леса, в лесостепной и степной зоне входит в состав березовых колок.

### **3.2. Методика дистанционного зондирования исследуемой территории**

С применением дистанционного зондирования и беспилотного летательного аппарата (далее БПЛА) «Квадрокоптер DJI Phantom4» изучены пространственные закономерности состава лесного покрова на техногенных землях (на промышленных отвалах Учалинского ГОК), определена его зависимость от лесорастительных условий.

DJI Phantom 4 является чрезвычайно умной летающей камерой, способной самостоятельно отслеживать объекты, избегать препятствий и летать по касанию пальца. Снимая при этом 4К видео или делая фотографии 12 Мп. Обладает следующими техническими характеристиками: дальность полета – 5 км; максимальная высота подъема – 6 км; максимальная скорость – 20 м/с; максимальная скорость набора высоты – 6 м/с; максимальная

скорость снижения – 4 м/с; время полета на одном заряде батареи – 28 минут.  
 Более подробную характеристику можно посмотреть в таблице 3.1.



Рис. 3.1. Применение дистанционного зондирования и БПЛА

Таблица 3.1

Технические характеристики Квадрокоптера DJI Phantom 4

Дрон	
Тип	Квадрокоптер (4 винта)
Силовая установка	Четыре бесколлекторных двигателя
Максимальная вертикальная скорость	Набора высоты: 6 м/с; снижения: 4 м/с
Максимальная горизонтальная скорость	20 м/с
Максимальная высота полета	6000 м над уровнем моря, 500 метров с

	точки взлета
Батарея	81,3 Вт*ч (5350 мА*ч, 15,2 В)
Время работы на одной зарядке	Около 28 минут
Встроенные датчики	Акселерометр, датчик высоты, магнитометр, сонар
Тип управления	Wi-Fi (802.11g/n), радиоканал, пульт управления в комплекте
Передача данных	DJI Lightbridge
Дальность передачи видеосигнала	2000 м
Дальность управления с пульта	3500 м
Поддержка операционных систем	Android, iOS
Навигация	GPS, ГЛОНАСС
Автопилот	Есть
Слежение за объектом	Есть
Возвращение в точку взлета	Есть
Рабочая температура	От 0° до 40° С
Дальность действия сонара	От 0,7 до 15 м
Габариты	289,5 x 289,5 x 196 мм
Масса	1380 г
Камера	
Сенсор	1/2,3", 12,4 Мп
Максимальный размер изображения	4000 x 3000
Формат фото	JPEG, RAW
Запись видео	До 4096 × 2160, 24/25p
Формат видео	MP4, MOV
Диапазон светочувствительности	ISO 100-3200
Объектив	$f/2,8$ , фокусное расстояние 20 мм (в 35-мм эквиваленте), поле зрения 94°
Хранение информации	MicroSD/SDHC/SDXC макс. емкости

Метод исследования с помощью Квадрокоптера DJI Phantom 4 начинается с активизации аппарата двойным нажатием – коротким и длинным. Пульт управления имеет разъем для зарядного устройства и USB-порт для соединения с планшетом/смартфоном. Два стика отвечают за тягу, поворот вокруг своей оси и направление движения – их функции можно переназначить. Под ними расположена кнопка активации пульта с четырьмя лампочками индикации заряда, как на самом коптере, и кнопка быстрой отправки аппарата на предварительно заданную домашнюю точку (рис.3.2).

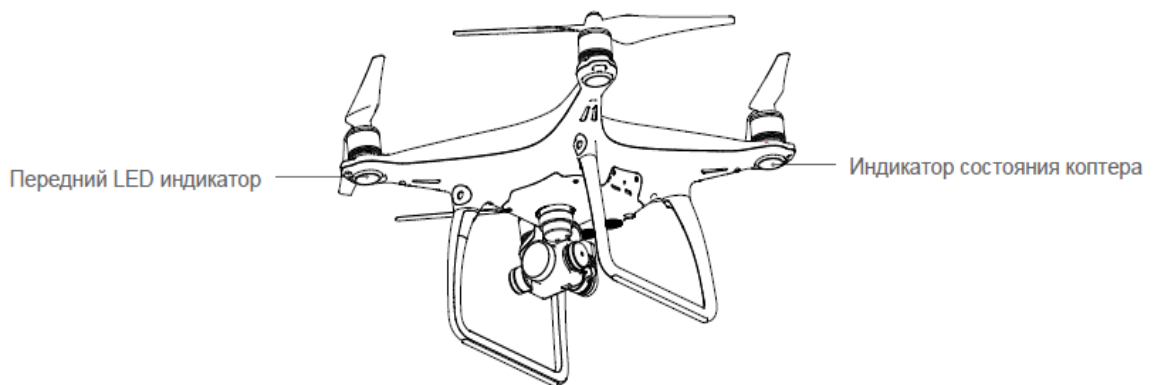


Рис.3.2. Расположение LED индикаторов

Запускали коптер с помощью расставленных по углам двух колес, вертикальный поворот камеры и настройку экспозиции, кнопки старта записи и переключателя режимов работы дрона. Были выбраны режимы: P (позиционирование, самый простой режим), режим A (в котором у дрона отключаются все датчики автоматического контроля полета и позиционирования) и режим S (спортивный режим, в котором снимается ограничение в скорости для дрона, а также отключаются передние сонары и система стабилизации полета, но работает передача визуальной информации с камеры и навигационный модуль), которые использовались в управлении.

Использовали приложение DJI GO, доступное как для iOS, так и для Android, а также дополнительные режимы полета (TapFly и ActiveTrack),

чтобы указывать расстояние в метрах, отображать на экране и GPS-трек с картой местности и пометками о высоте, скорости и других полетных данных (рис.3.3). С помощью данного приложения нашли коптер, настроили компас, следуя инструкциям. После чего указали точку прямо на экране мобильного устройства для дальнейшего направления.

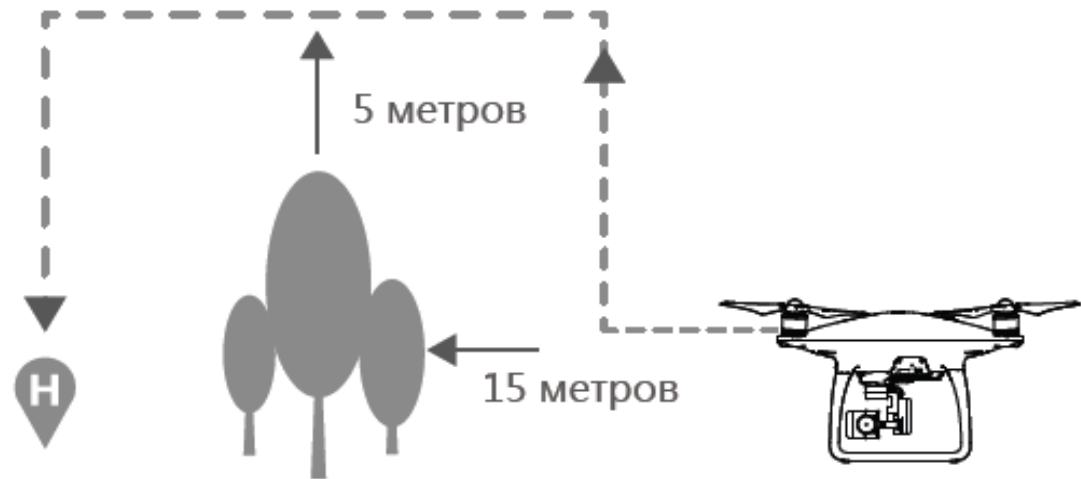


Рис. 3.3. Обход препятствий во время FailSafeRTN

Полетные данные были записаны на внутреннюю память копитера. Эти данные включают в себя: телеметрию полёта, информацию о состоянии копитера, а также другие параметры. Для того чтобы получить доступ к этим данным, мы подключили копитер к ПК через порт Micro–USB и запустили приложение DJI GO.

### **3.3. Анализ и обработка цифровых изображений лесовозобновления**

На практике обработка цифровых изображений всегда состоит из двух частей – освоение инструментов работы с изображениями и собственно их обработка. При постановке задачи по обработке обычно не упоминается, какими средствами эта обработка производится. Поэтому обработчик вынужден сосредотачиваться не на самой обработке изображений, а на

освоении программных средств для создания своих инструментов, которые обычно громоздки и отнимают много времени (Гонсалес, Вудс, 2005).

Среди них популярны такие решения, как:

- обработка изображений в мат. пакетах MathCAD и Matlab;
- создание приложений – обработчиков на языке C++;
- использование готовых решений для обработки – Adobe Photoshop.

У всех предложенных вариантов есть серьезные минусы:

– при программировании «с нуля» время на разработку инструментов многократно превышает время, требуемое на освоение теоретической базы и проведение экспериментов по изучаемому вопросу;

– при использовании математических пакетов возникают сложности с конвертированием форматов представления данных, что приводит к значительным искажениям результатов;

– при использовании готовых пакетов обработки инструменты, применяющиеся для обработки, подробно не описаны и при их использовании неясно, какие процессы приводят к конечному результату.

Для преодоления этих проблем был выбран программный комплекс ImageJ – свободно распространяемое платформенное ПО (рис. 3.4).

ImageJ имеет открытую архитектуру, которая обеспечивает расширяемость при помощи плагинов Java, а также записываемых макросов (Choi, Nelson, Tsunashima, Balter, 2007). Поскольку ImageJ реализован на языке Java, он отличается высоким быстродействием (Конюхов, 2012; Abramoff, Magalhaes, Ram, 2004).

ImageJ был необходим для оперативной оценки таксационных характеристик насаждений на территориях, интенсивно заселяющих заброшенные сельскохозяйственные земли (г. Межозерье, шахта Учалинского горно-обогатительного комбината; район предприятия «Кровля»). Было открыто основное рабочее окно программы "ImageJ", которое содержит строку меню, строку с инструментами, строку состояния, и



строку изменения. Изображения, гистограммы, профиль линии, и т.д. были отображены в дополнительных окнах.

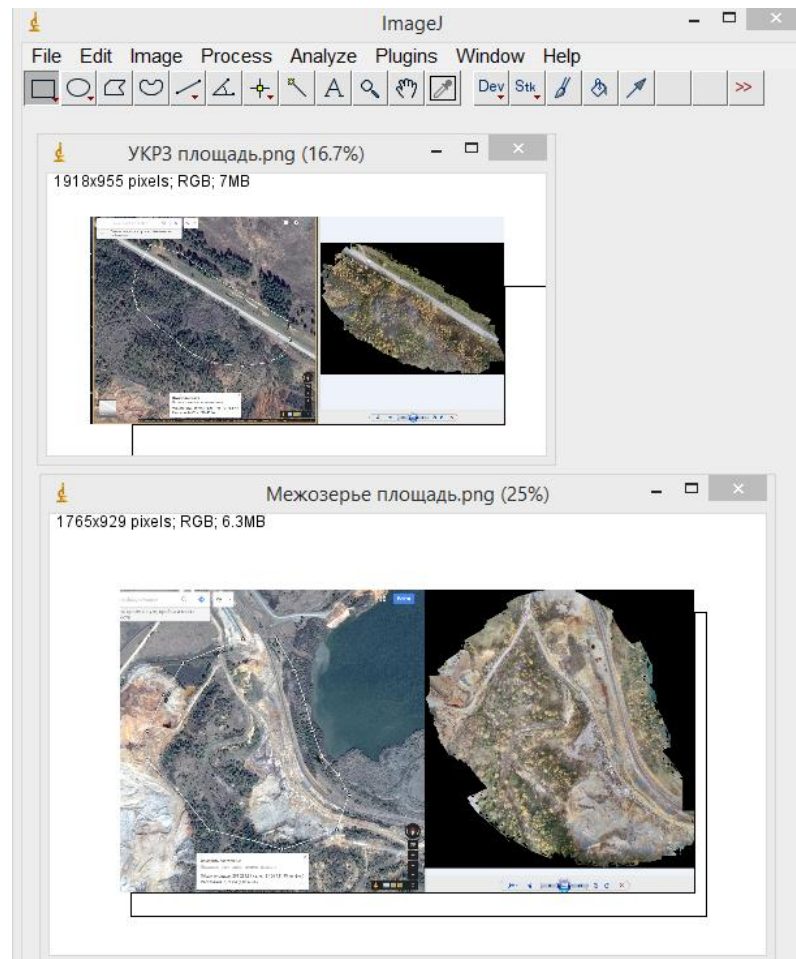


Рис.3.4. Применение программы "ImageJ" для анализа и обработки изображений

Результаты измерения впоследствии были отображены в окне «Results»; гистограммы и графики - изображены в окнах, с которых они были скопированы во внутренний буфер обмена, отредактированы, напечатаны и сохранены (рис.3.5).

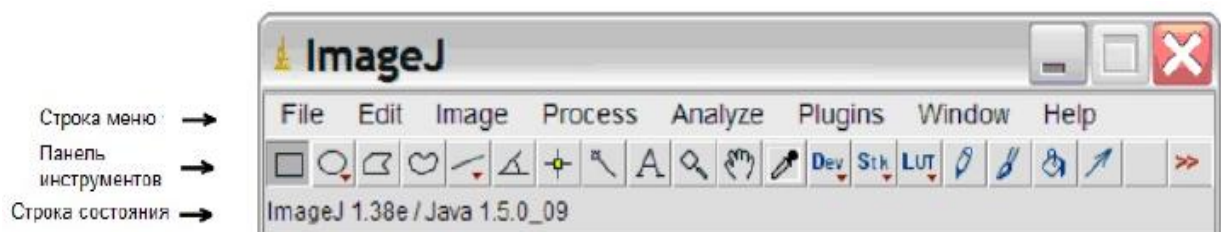


Рис.3.5. Основное окно программы "ImageJ"

При нажатии на "Панель инструментов" окна ImageJ выполнялись команды выделения, рисования, различных измерений, заполнения, добавления меток и др. (Moodley, Murrel, 2004). Запускались эти команды одинарным кликом правой кнопки или двойным кликом левой кнопкой мыши (рис.3.6).

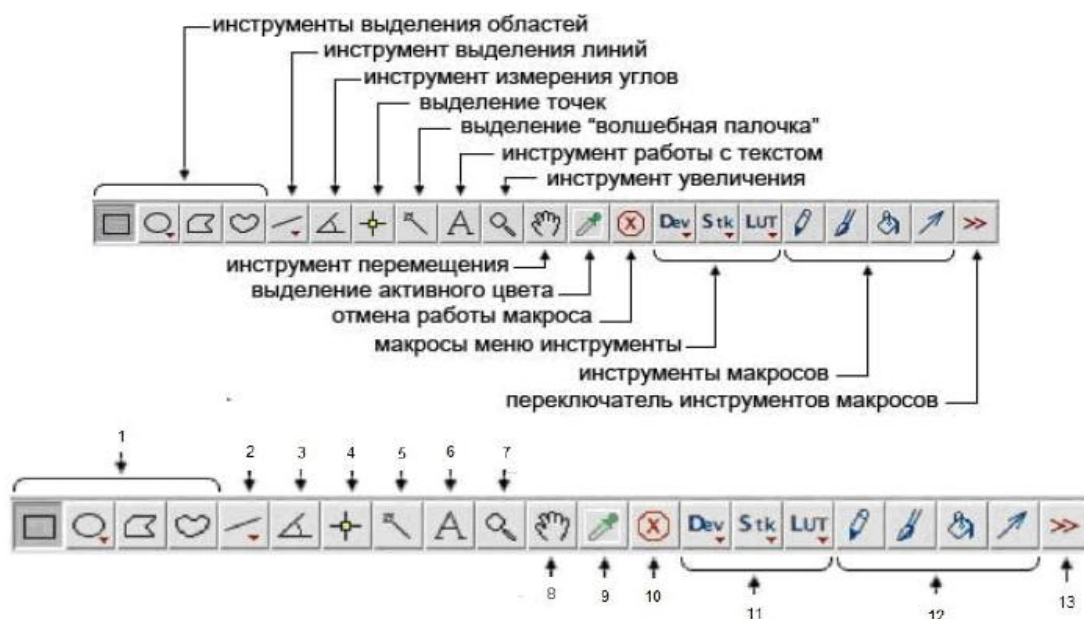


Рис.3.6. Панель инструментов

Далее была проделана работа с изображениями с помощью команды Threshold (Moodley, Murrel, 2004).

Используя данный инструмент интерактивно настроили верхние и нижние значения порога для сегментирования области интереса и заднего фона изображения. Использовалось Threshold также для регулировки минимального (нижнего) порогового значения и для настройки максимального (верхнего) значения порога (рис.3.7).

Далее открыли команду ConverttoMask, которая преобразовала текущее изображение в черно/белое на основе уже выставленных настроек в меню Image>Adjust>Threshold. Маска была инвертирована в LUT, цвета имели

значения 0 (белый) и 255 (черный). Данная команда была необходима для более точного выявления кронов деревьев.

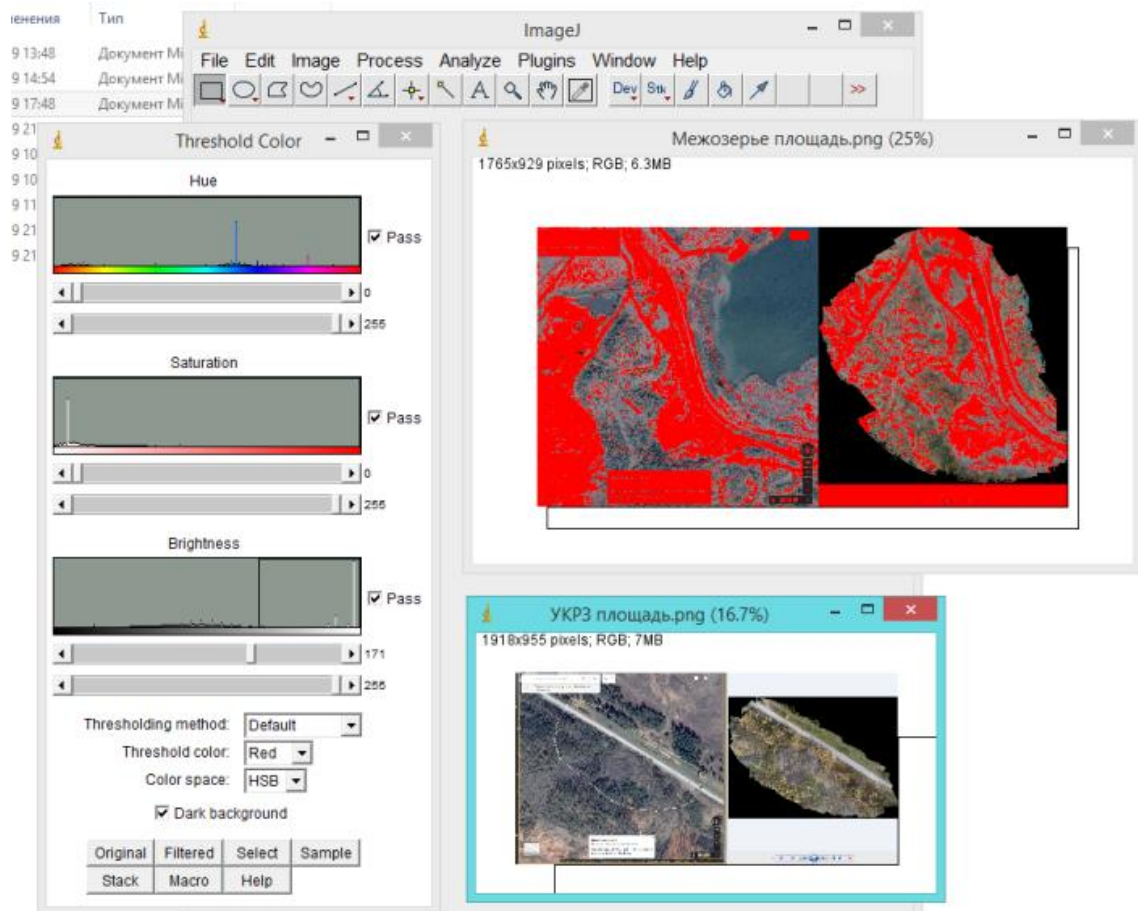


Рис.3.7. Настройка порога отделения фона от изображения

После чего выбрали команду FindMaxima, которая нашла все локальные максимумы на изображении, и создалось новое изображение, с применением фильтра той команды, которую ранее указали в OutputType. Для наших изображений выбирались максимумы яркости (относительно среднего значения, заданного в меню Edit>Options>Conversions).

При запуске команды появилось диалоговое окно, в котором были заданы необходимые параметры. С помощью вкладки ExcludeEdgeMaxima, исключили те максимумы, края которых соприкасались со значением, заданным в NoiseTolerance. Затем использовали вкладку LightBackground. Вкладка LightBackground ставится в случае, если фон изображения ярче

основного рисунка (Конюхов, 2012; Abramoff, Magalhaes, Ram, 2004). Чтобы посмотреть все локальные максимумы на текущем изображении в виде отдельных точек, не создавая при этом нового изображения была выбрана вкладка PreviewPointselection (рис.3.8).

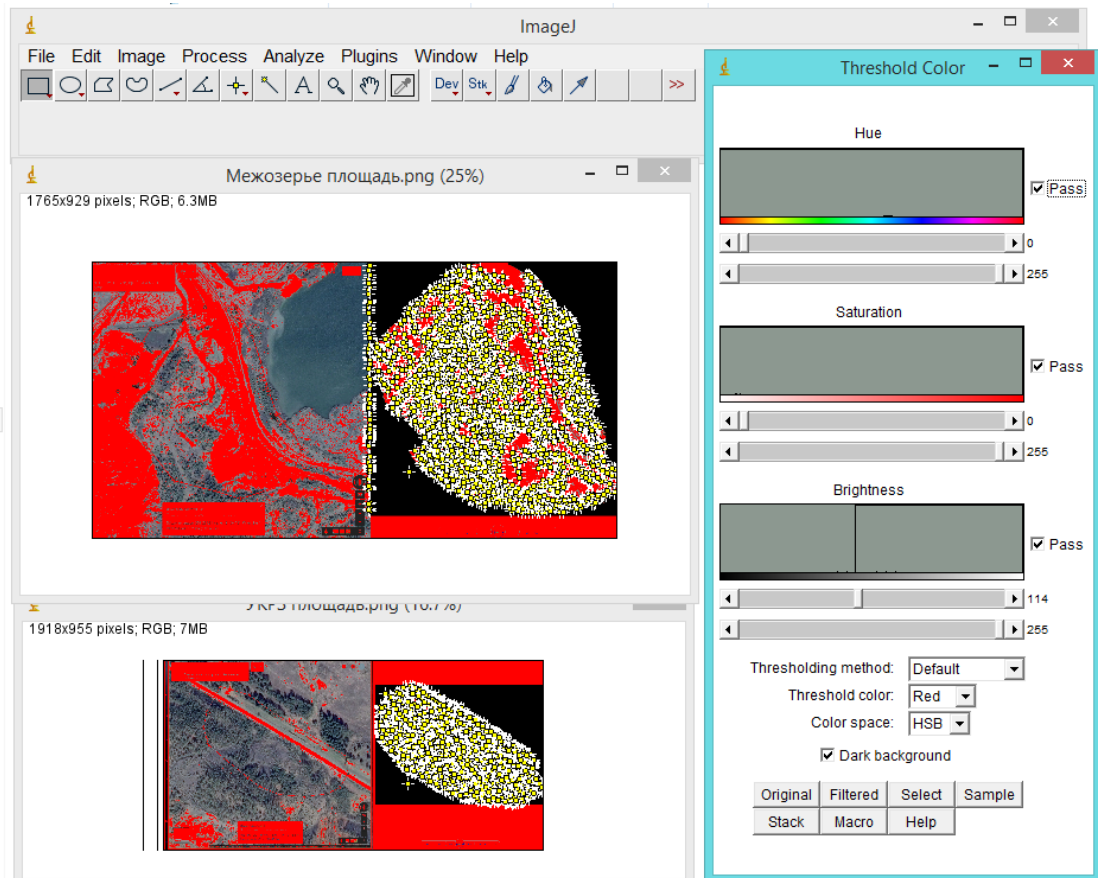


Рис.3.8. Примеры работы команды FindMaxima

С помощью данной команды нашли число деревьев в выделенном участке на изображении. В нашем случае сосна обыкновенная была определена отдельной цветовой гаммой. Рассчитали количество деревьев в насаждении. Для получения изображения использовали цифровую фотокамеру.

### 3.4. Статистическая обработка полевых данных

На заложенных пробных площадях проведён сплошной переѐт подроста. У них измерены высота и расстояние между мутовками, равные годовичному приросту в высоту. Для обработки вариационных рядов полевых

исследований использовалась программа "STATISTICA 6.0" (StatSoft, версия 6.0.) и вычислялись средние арифметические величины, их ошибки, пределы изменений признака, коэффициенты вариации и корреляции с определением статистической значимости различий. Внешний вид программы показан на рисунке 3.9.

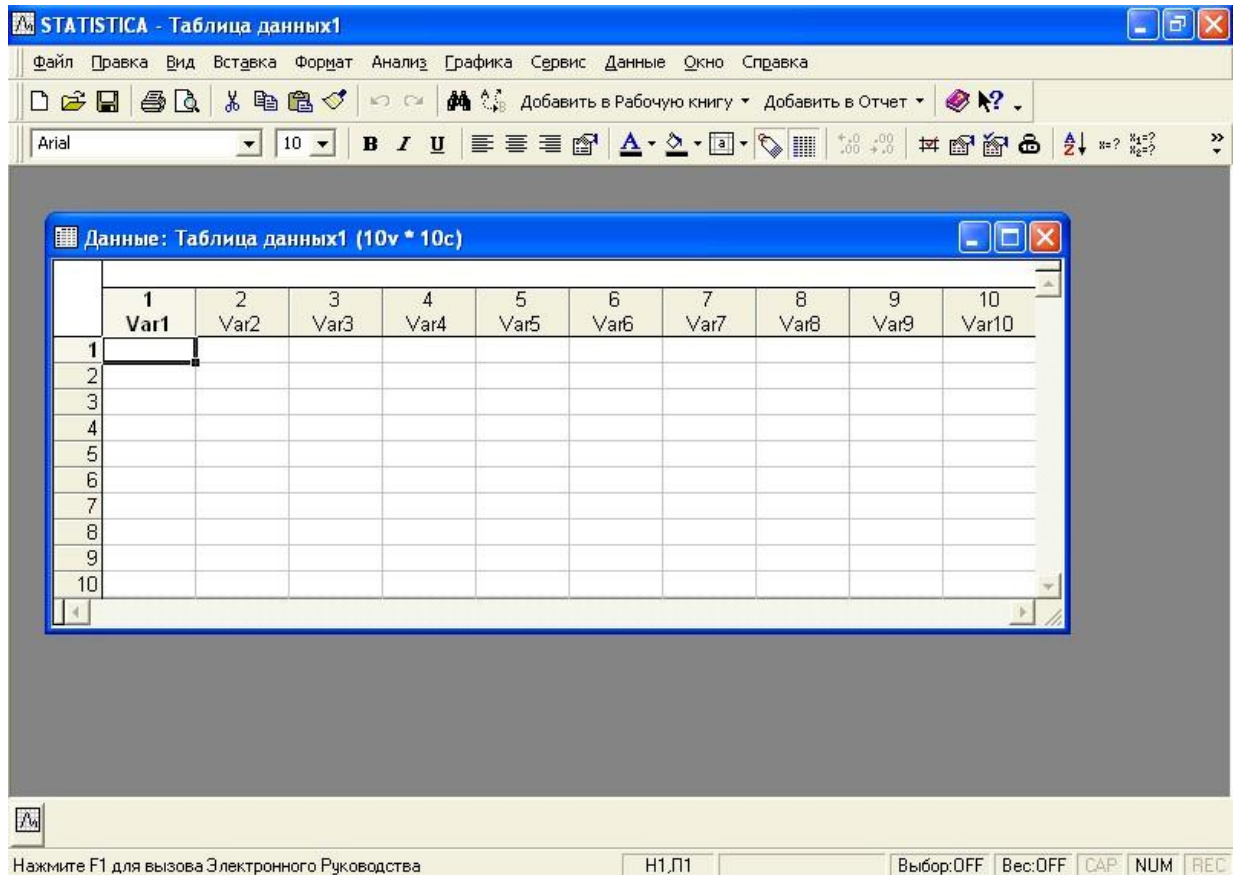


Рис.3.9.Внешний вид рабочего окна программы STATISTICA

STATISTICA – программный пакет для статистического анализа, разработанный компанией StatSoft, реализующий функции анализа данных, управления данными, добычи данных, визуализации данных с привлечением статистических методов (Дюк, Эммануэль, 2003).

Анализируемые данные в STATISTICA получили в виде электронной таблицы, подобно тому, как это делается, например, в программе MS Excel. Для этого открыли вкладку Spreadsheet (крупноформатная таблица), в данной таблице столбцы называются Variables (переменные), а строки – Cases



(наблюдения). В качестве переменных выступали исследуемые признаки. Например, годичный прирост подростка сосны обыкновенной. При помощи таблиц Spreadsheet выполнялись различные стандартные типы операций с ячейками: выделение и перетаскивание диапазона (drag-and-drop), автозамена, копирование/вставка, импорт из других приложений (MS Excel, Access) и др. Перед тем, как начать вводить данные в таблицу, выполнили определенную предварительную подготовку созданной нами таблицы Spreadsheet. Столбцам присвоили уникальные (не повторяющиеся) имена. Для этого подвели курсор мыши к заголовку столбца и, дважды кликнув по нему, осуществили настройку свойств переменной в открытом окне. Имя переменной указали в поле Name. Формат надписи (шрифт, его размер и т.п.) задали с помощью стандартных инструментов для форматирования текста, расположенных выше. В поле Type (Тип), расположенном справа от Name, указали тип переменной (рис.3.10).

The screenshot shows the STATISTICA software interface. The main window displays a data table with two columns: '1 Technology' and '2 Power'. The data rows are as follows:

	1 Technology	2 Power
1	T0	46
2	T0	48
3	T0	73
4	T0	52
5	T0	72
6	T0	44
7	T0	66
8	T0	46
9	T0	60
10	T0	48
11	T2	52
12	T2	63
13	T2	72
14	T2	64
15	T2	48
16	T2	70
17	T2	78
18	T2	68
19	T2	70
20	T2	54
21	T1	74
22	T1	82
23	T1	64
24	T1	72
25	T1	84

Overlaid on the table is the 'Statistics by Groups (Breakdown): Factor\_rank1.sta' dialog box. The 'Grouping variables' field is set to 'Selected' and the 'Dependent variables' field is set to 'Power'. The 'Output Tables' section includes checkboxes for 'Summary table of means' (checked), 'Detailed two-way tables', 'Within-group correlations', 'Analysis of variance' (checked), 'Levene test', and 'Brown & Forsythe (H0V)'. The 'Statistics' section includes checkboxes for 'N', 'Std. devs', 'Min & max', 'Std. err. of mean', 'Conf. limits for mean' (checked, set to 95.00%), 'Sums', 'Variances', 'Median & quartiles', and 'Percentile boundaries'. The 'Percentile boundaries' are set to 'First: 10%' and 'Second: 90%'. The 'MD deletion' section has 'Pairwise' selected.

Рис.3.10. Окно спецификации переменной

По умолчанию он был выставлен на Double (Двойной), что подходит для тех случаев, когда значения переменной выражаются числами, лежащими в интервале  $\pm 1.7 \cdot 10^{308}$ . Если анализируемые данные представляют собой только целые числа, находящиеся в интервале  $\pm 2^{147} 483 648$ , то следует выбрать тип Integer (Целое). Для переменных, которые выражаются целыми числами от 0 до 255 включительно можно установить тип Byte (Байт).

Благодаря особому алгоритму сжатия информации, выбор Byte для целых чисел позволил снизить размер файлов, содержащих большие массивы данных. Наконец, при анализе текстовых данных, тип переменной установился на Text. После ввода данных построили графики распределения (рис.3.11).

№	Ср.	min	max	С, %	ошибка
19	11,97895	7,400000	20,40000	3,116191	26,01389
19	13,65789	7,500000	22,50000	4,036819	29,55667
19	12,15263	4,100000	22,40000	5,081816	41,81659
19	9,66316	4,200000	18,60000	4,165628	43,10835
19	11,56316	4,500000	23,60000	5,094246	44,05584
19	15,00526	9,300000	33,20000	6,070097	40,45312
19	10,59474	6,100000	30,80000	5,360812	50,59882
18	9,47222	3,200000	19,40000	4,801447	50,68976
18	26,61167	5,400000	40,50000	9,832155	36,94678
18	17,14444	8,700000	25,30000	5,693466	33,20881

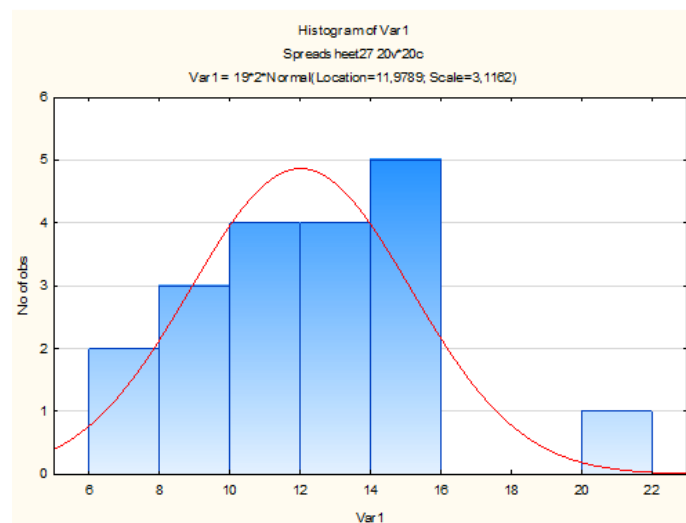


Рис.3.11. Пример полученной гистограммы распределения

### 3.5. Определение средней плотности древесины

Средняя плотность древесины зависит от породы, влажности и объема пор (Приложение 5). Плотность древесины при данной влажности рассчитывается по формуле:

$$p_w = m^w / V^w;$$

где:  $p_w$  – средняя плотность древесины при данной влажности, г/см<sup>3</sup>

$m^w$  – масса образца при влажности  $W$ , гр;

$V^w$  – объем образца при влажности  $C$ , см<sup>3</sup>.

Найденную плотность пересчитывают на стандартную 12 %-ную влажность древесины по формуле:

$$p_{12} = p_w * [1 + 0,01 * (1 - K_0) * (12 - W)];$$

где:  $K_0$  – коэффициент объемного разбухания, зависит от породы дерева, определяется по таблице в Приложении;

$W$  – влажность образца (средняя влажность свежесрубленной древесины породы сосны обыкновенной составило 28 %).

Материалы и оборудование:

- образцы древесины размером 20x20x30 мм;
- штангенциркуль;
- технические весы с разновесами.

Методика выполнения работы:

- размеры образцов измерить штангенциркулем с точностью до 0,1 мм;
- вычислить объем образцов с точностью до 0,01 см<sup>3</sup>;
- образцы взвесить на технических весах с точностью до 0,01 г.;
- вычислить по приведенным выше формулам плотность образцов и пересчитать на стандартную. Значение плотности определить по среднему арифметическому из 3-х значений.



После замеров и расчетов, заполняется лабораторный журнал и составляется таблица для дальнейших выводов.

Лабораторный журнал:

№	Размеры, см		Масса m, г	Влажность W, %	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	
	Радиус R	Высота H			При данной влажности $\rho_W$	При W=12 % $\rho_{12}$

Расчетная часть и заключение.

### **3.6. Анализ генофонда подроста сосны обыкновенной на промышленных отвалах**

При отборе образцов мы воспользовались тем, что на территории Учалинского горно-обогатительного комбината (далее УГОК) с северной и восточной сторон карьера подступают естественные сосново-березовые леса (рис. 3.12), являющиеся источником поступления семян и лесовозобновления промышленных отвалов. В основном, подрост сосны обыкновенной разной густоты появляется на подножии и склонах промышленных отвалов. В этой части их периметра в 7 куртинах (табл.3.2; пробные площади обозначены как SDU1, SDU2, SDU3, SDU4, SDU5, SDU6 и SDU7) отобраны по 32 подроста, с которых для лабораторного анализа отобраны зимние почки. Образцы собраны также с 32 деревьев близлежащего соснового древостоя (TSU), расположенного северо-восточнее на расстоянии около 300 м от отвалов. Под пологом этого насаждения, протянувшегося на 5 км вдоль восточной стороны отвалов, в 4 группах подроста (SSU1, SSU2, SSU3, SSU4) также отобраны по 32 образца почек подроста. Еще одна выборка (SDS) такого же объема представляет подрост промышленных отвалов другого предприятия –

расположенного южнее на удалении около 200 км Башкирского медно-серного комбината. Возраст подроста во все случаях был до 20 лет.

В данном исследовании для генетического анализа мы использовали методику электрофореза ферментов и изоферментные маркеры. Ферменты экстрагировали с использованием 0.1 М трис-НСl (рН 8.0) буфера, содержащего 17 % сахарозы, 0.1 % 2-меркаптоэтанола, 0.05 % диэтилдитиокарбомата натрия. Навеску кусочков зимних почек в 200 мг растирали в фарфоровой ступке с добавлением 1 мл охлажденного экстрагирующего буфера.



Рис. 3.12. Расположение исследованного района

Для связывания полифенолов перед этим добавляли около 200 мг нерастворимого поливинилпирролидона PolyclarAT. Гомогенат центрифугировали в течение 20 минут при 15-17 тыс. об/мин в холодильнике. Разделение изоферментов проведено методом диск-электрофореза в вертикальных пластинах 7.5 %-ного полиакриламидного геля с рН разделяющего геля 8.9 (Davis, 1964; Ornstein, 1964) с использованием трис-глицинового электродного буфера с рН 8.3. Гистохимическое выявление зон ферментативной активности в гелях осуществлено по стандартным методикам с небольшими модификациями. Исследована изменчивость аспаратаминотрансферазы (ААТ, Е.С. 2.6.1.1), глутаматдегидрогеназы (GDH, 1.4.1.2), формиатдегидрогеназы (FDH, Е.С. 1.2.1.2.), лейцинаминопептидазы (LAP, 3.4.11.1), шикиматдегидрогеназы (SKDH, 1.1.1.25.), 6-фосфоглюконатдегидрогеназы (6-PGD, 1.1.1.44) и диафоразы (DIA, 1.6.4.3). Для характеристики изменчивости и уровня подразделенности популяций использованы 10 полиморфных локусов: Aat-1, Aat-2 и Aat-3, Gdh-1, Fdh-1, Lap-1, Lap-1, Skdh-1, 6-Pgdh-1 и Dia-1 (Янбаев, 2002). Для анализа уровня генетической изменчивости и дифференциации выборок использованы показатели, определяемые программой BIOSYS-1 - частота аллелей, их число на один локус (в том числе с применением 5 %-ного критерия), наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность, показатель уровня межвыборочной подразделенности  $F_{ST}$ -статистики Райта, генетическое расстояние М. Нея D. Различия наблюдаемых распределений генотипов и их ожидаемых частот при равновесии Харди-Вайнберга определяли при помощи стандартного  $\chi^2$ -критерия. Кроме того, в этих целях применен также G-тест с объединением генотипов в три класса: 1) гомозигота по основному аллелю, 2) гетерозигота по основному аллелю, 3) все другие генотипы. Эти вычисления проводили с применением программы GSED (<http://www.uni-goettingen.de/en/95607.html>).

#### **ГЛАВА 4. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОСТАВА ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ**

Для оценки плотности стояния деревьев применяется понятие о полноте древостоя, под которым понимается показатель, характеризующий степень использования деревьями древостоя занимаемого ими пространства.

Полнота – один из важнейших таксационных показателей, позволяющий определять запас насаждения, характеризовать его состояние и намечать хозяйственные мероприятия. Поэтому было необходимо рассчитать плотность насаждений различных условиях произрастания. Эта часть ВКР проведена на примере березы повислой и сосны обыкновенной в различных условиях произрастания промышленных отвалов Учалинского горно-обогатительного комбината. Ниже приведены эти данные, определенные с помощью Квадракоптера "DJI Phantom" (версия 4) и программы ImageJ (версия 1.51 s).



Рис.4.1. Съемка с помощью Квадрокоптера "DJI Phantom"

(г. Межозерье, шахта Учалинского горно-обогатительного комбината)

Было подсчитано количество древесных насаждений на пробных площадях (рис. 4.3 и 4.4) в разных экологических условиях, отличающихся по толщине почвенного покрова и топографии (рис.4.1; 4.2), а также по полноте древостоя (таблица 4.1).



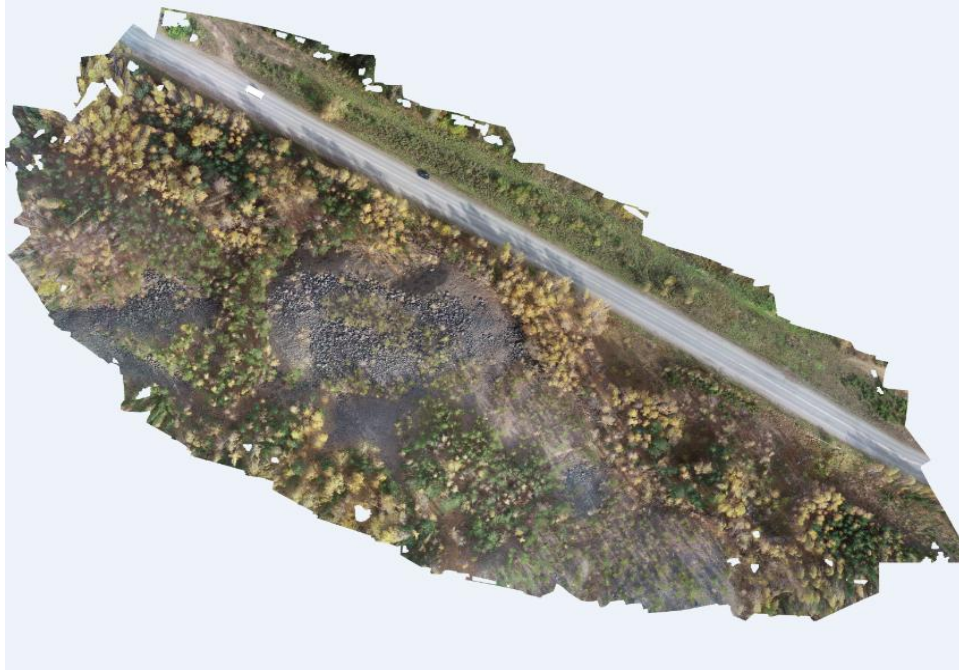


Рис.4.2. Съемка с помощью Квадрокоптера "DJI Phantom" (район предприятия «Кровля»)

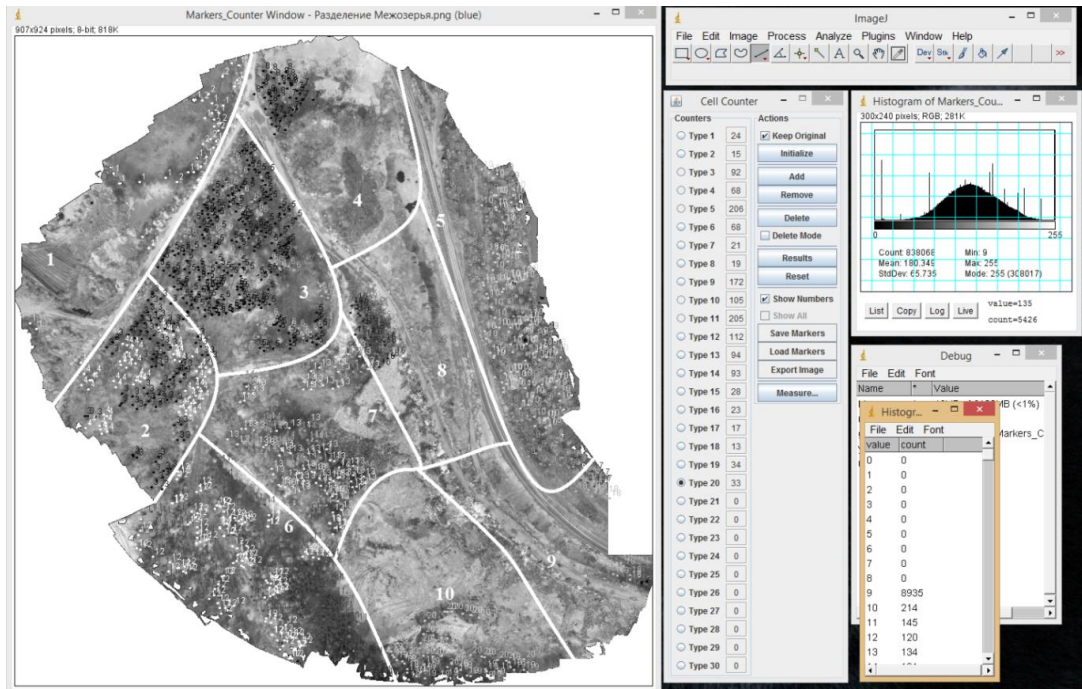


Рис.4.3.Обработка, проведенная с помощью программы ImageJ, (г. Межозерье, шахта Учалинского горно-обогатительного комбината)



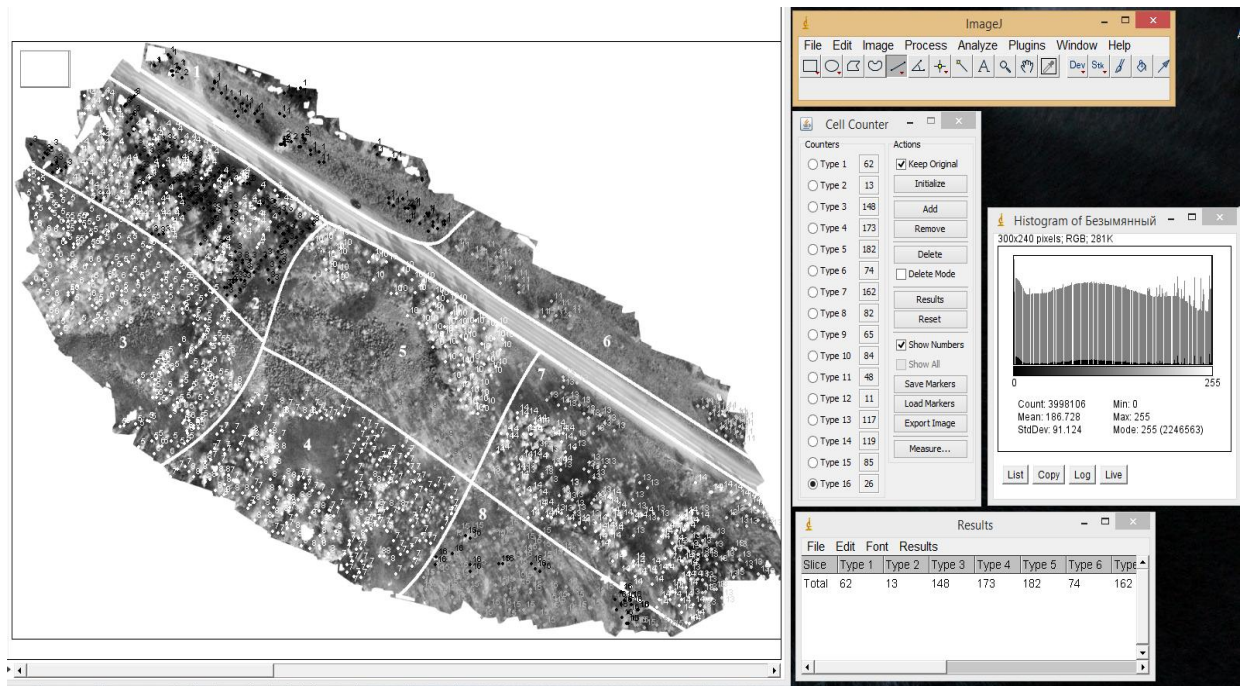


Рис.4.4.Обработка, подсчитанных с помощью программы ImageJ  
(предприятие «Кровля»)



Рис.4.5. Применение дистанционного зондирования и БПЛА

Обработка данных дистанционного зондирования показало, что главный экологический фактор на промышленных отвалах, влияющий на густоту и ход роста подроста сосны обыкновенной – условия освещения. Здесь отсутствует полог материнских деревьев, то есть подрост сосны обыкновенной формируется в условиях хорошего верхнего и бокового освещения. Такие же условия – у подроста вне насаждений, интенсивно заселяющего заброшенные сельскохозяйственные земли.

Обнаружена пространственная неоднородность состава древесных растений на промышленных отвалах. В результате осмотра территории отвалов установлено, что на большей их части поселение растений затруднено. Это обусловлено отсутствием почвы, крупнообломочным механическим составом грунтов (обладающих к тому же большей подвижностью) и крутизной склонов. Возможно, имеет место и воздействие особой фитотоксичности отдельных участков.

Таблица 4.1

## Полнота древостоя сосны обыкновенной

№	Район предприятия «Кровля»		г. Межозерье, шахта Учалинского горно-обогатительного комбината	
	Кол-во растений	Проекция, %	Кол-во растений	Проекция, %
1	108	0,0228	24	0,001283
2	11	0,034	15	0,005398
3	178	0,0716	92	0,011027
4	270	0,0433	68	0,000863
5	315	0,0238	206	0,008245
6	107	0,0119	68	0,010484
7	215	0,0346	21	0,003919
8	87	0,0253	19	0,001458
9	0	0	172	0,000843
10	0	0	105	0,00144



В то же время, на относительно выровненных элементах по всему периметру, отличающихся от условий отвала в целом, имеются куртины древесных растений разной полноты. Это, как правило, дренированные увлажненные местообитания с мелкоземом. Другая закономерность – относительно четкая зависимость успешности лесовозобновления от приуроченности к сторонам света.

В районе предприятия «Кровля» возобновление довольно успешное, преимущественно – березой повислой, максимальное количество насаждений идет с северо-западной части (с преобладанием берез), наименьшее количество зарастания пришлось на юго-восточную часть данной пробной площадки. К восточной стороне отвалов предприятия «Кровля» примыкают березовые и сосновые насаждения, которые являются мощным источником поступления семян и эффективной естественной рекультивации отвалов. На южной стороне отвалов лесовозобновление затруднено и встречаются в основном редкий подрост березы (видимо, здесь лимитирующим фактором выступает интенсивность инсоляции, приводящая к перегреванию грунтов). Наибольшее зарастание в городе Межозерье, шахта Учалинского горно-обогатительного комбината (пробная площадь) расположено в северо-восточной части с преобладанием березой повислой.

Исследования показывают, что связь между полнотой для чистых древостоев и процентом текущего прироста выражается уравнением прямой. С понижением полноты процент текущего прироста повышается (рис.4.6).

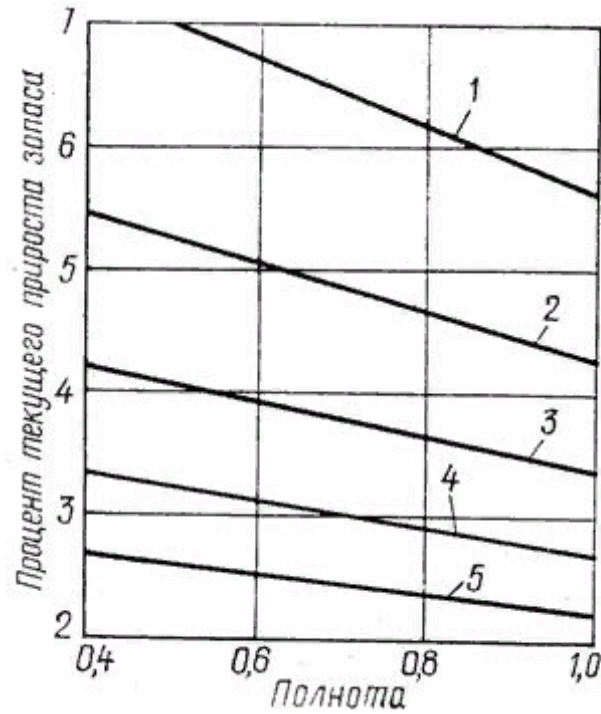


Рис.4.6. Зависимость процентов текущего прироста запаса от полноты и возраста: 1—40 лет; 2—50; 3—60; 4—70; 5—80 лет

Для одной древесной породы и примерно одинаковых почвенно-типологических условий зависимость процента прироста от возраста и полноты быть выражено уравнением гиперболы (рис.4.7).

До сих пор влияние полноты на величину прироста изучалось только в чистых древостоях. Смешанные и сложные насаждения исследованы недостаточно.

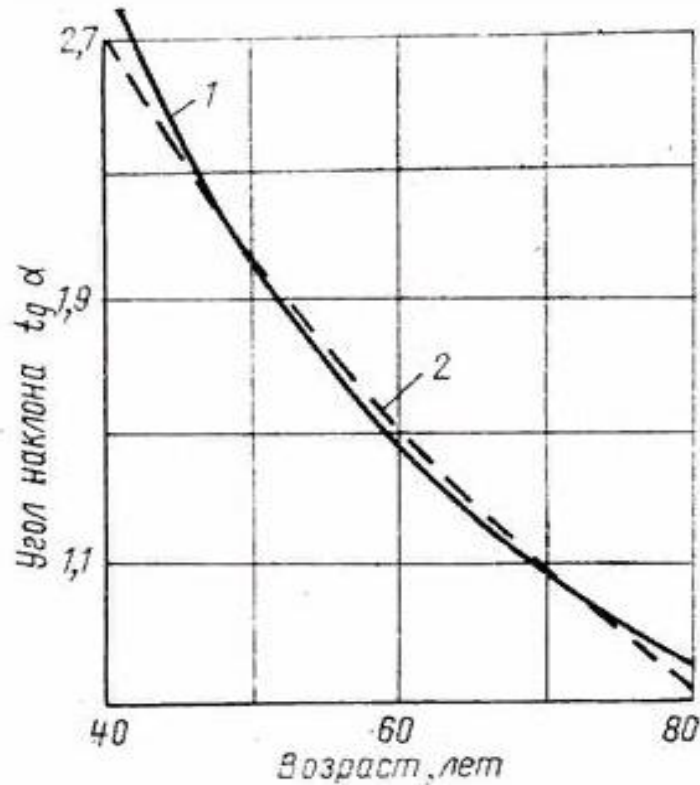


Рис.4.7. Зависимость угла наклона прямых процентов текущего прироста от возраста 1 — выровненная кривая; 2 — экспериментальная кривая  
( $\text{tg } a = 15,776 / A - 1,184$ )

Отсутствие исчерпывающих данных о характере связи текущего прироста с полнотой в древостоях разного состава и возраста в тех или иных почвенно-типологических условиях, при разном хозяйственном режиме вынуждает пользоваться в практической работе обобщенными показателями. Исходя из данной взаимосвязи был подсчитан подрост сосны обыкновенной, который более подробно описывается в следующей главе.

## ГЛАВА 5. ХОД РОСТА ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

В качестве контроля нами выбран подрост сосны обыкновенной, произрастающий на заброшенных землях сельскохозяйственного назначения. Трансформация экономики России в последние десятилетия привела к изменению структуры аграрного сектора и, как следствие, к существенному росту доли неосваиваемых земель, ранее вовлечённых в сельскохозяйственное производство. Сообщается, что по стране их количество увеличилось более чем на 40 млн.га, а большая часть этих площадей в настоящее время интенсивно зарастает древесно–кустарниковой растительностью (Люри, Горячкин и др., 2010). Данный процесс характерен также для Республики Башкортостан.

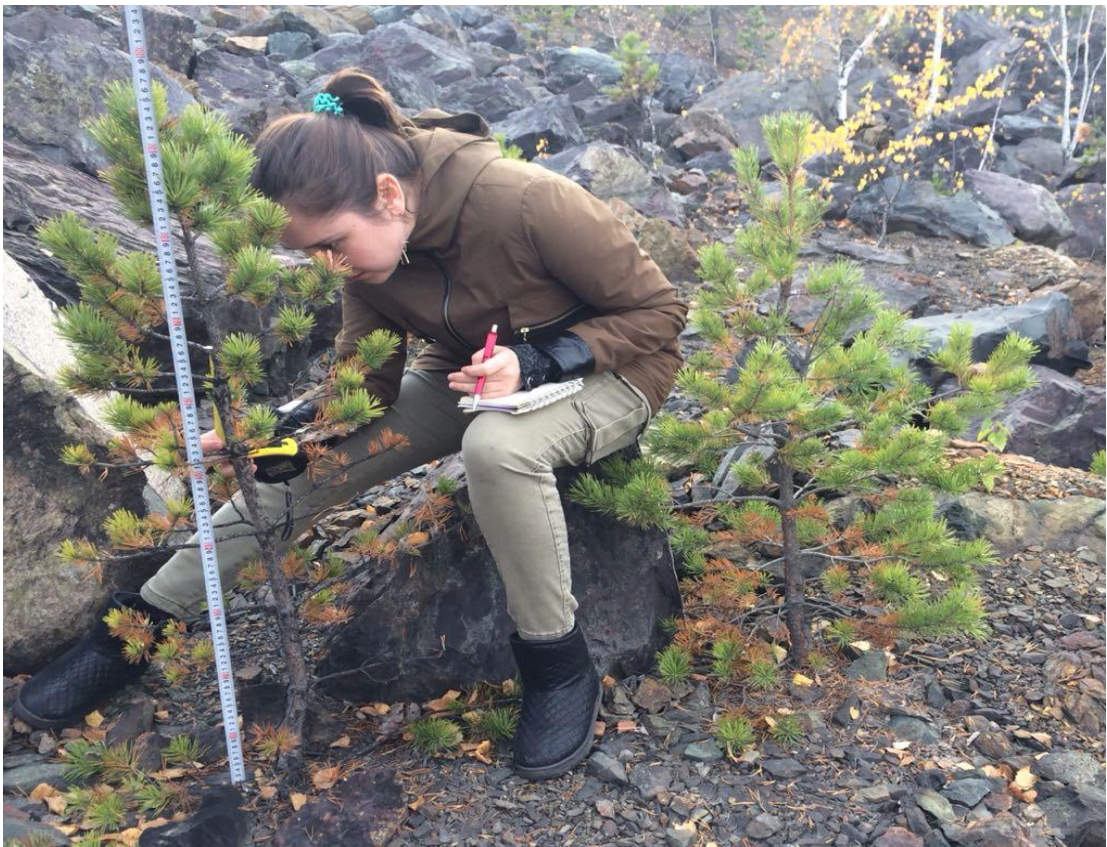


Рис.5.1. Ход роста подростa сосны обыкновенной, произрастающего на техногенно загрязненных землях вблизи предприятий горнодобывающей промышленности

По данным государственного учёта, по состоянию на 1 января 2017 г. земли сельскохозяйственного назначения составляли 7312,5 тыс.га (51,1 %). К ним отнесены земли, предоставленные различным предприятиям и организациям и для ведения крестьянского (фермерского) хозяйства, личного подсобного хозяйства, садоводства, огородничества, животноводства и сенокосения, а также земельные доли граждан (в том числе не востребуемые). В структуре земель сельскохозяйственного назначения доминируют угодья (без учёта пашен 3197,8 тыс. га), лесные площади и насаждения, не входящие в лесной фонд (316,3 тыс. га). Большая часть этой территории не используется и заселяется древесными растениями.

В лесостепной части Башкирского Зауралья на территории Учалинского административного района Республики Башкортостан в ходе рекогносцировочных осмотров овсенокосных и пастбищных угодий (занимающих здесь 140629 га, или 31,2% земельного фонда района) были подобраны два типичных сосны обыкновенной. На одном из них (№ 1) представлен подрост сосны обыкновенной, появившийся на неиспользуемом пастбище. Другой участок примыкает к Юлдашевскому известняковому карьеру, который с 1990 г. используется ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» для добычи технологической извести.

На пробной площади № 1 высота подроста составляла в среднем  $1,3 \pm 0,1$  м с изменениями от 0,75 до 1,8 м (коэффициент вариации - 21,1%). На второй пробной площади видимо, самосев появился на несколько лет раньше (её параметры составляли значения  $1,7 \pm 0,1$  м; 0,8-3,2 м; 38,3% соответственно). Установлено, что оба обследованных участка зарастают подростом сосны обыкновенной со всевозрастающими темпами. Если подрост старшего возраста представлен единичными экземплярами, то с уменьшением высоты растений (которая прямо пропорциональна возрасту) их численность описывается убывающей J-образной кривой. На рисунке 5.2 представлена гистограмма, составленная для объединённой выборки подроста.

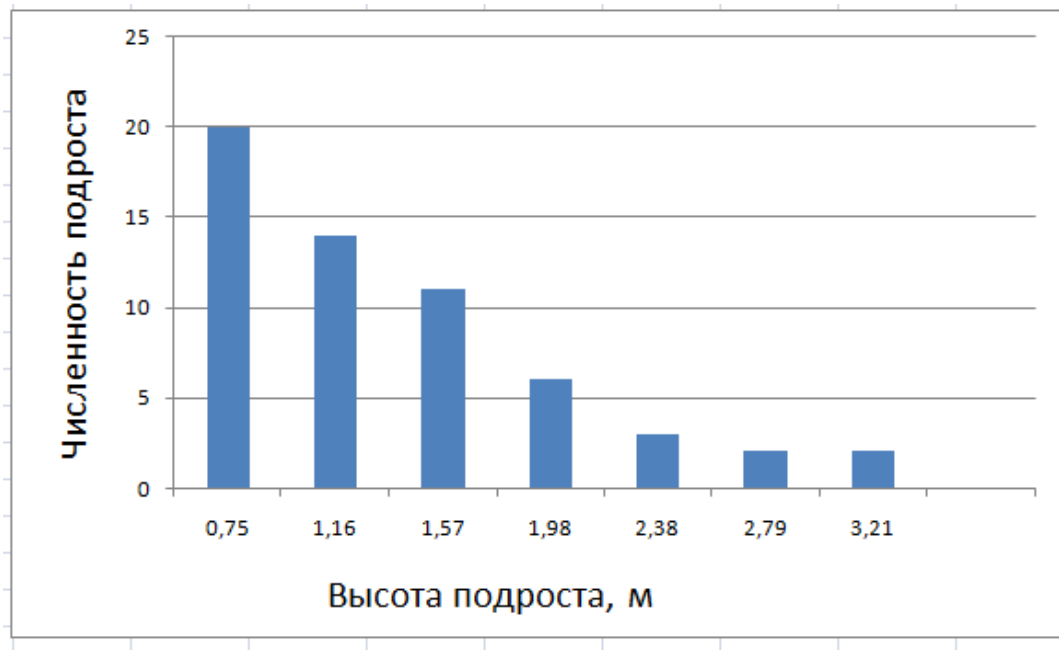


Рис.5.2. Численность подроста сосны обыкновенной с группированием по размеру

В таблице приведены доказательства того, что годичный прирост подроста сосны обыкновенной с увеличением его возраста увеличивается нарастающими темпами. В выборках 1 и 2 показатель за 5 лет увеличился в 2,9 и 2,0 раза, соответственно. Данная зависимость имеет прямо пропорциональный характер. Доказательства этого утверждения приведены на рисунке 5.3 на примере объединенной выборки растений.

Корреляционный анализ подроста тем больше, чем больше прирост в высоту. Она была статистически достоверна на уровне значимости не менее 5% практически всегда (кроме прироста 2010 г. на пробной площади № 1). В выборке 1 средний за 5 лет коэффициент корреляции между величиной годичного прироста в высоту и высотой подроста составил значение  $0,44 \pm 0,071$  (коэффициент вариации - 35,5%).

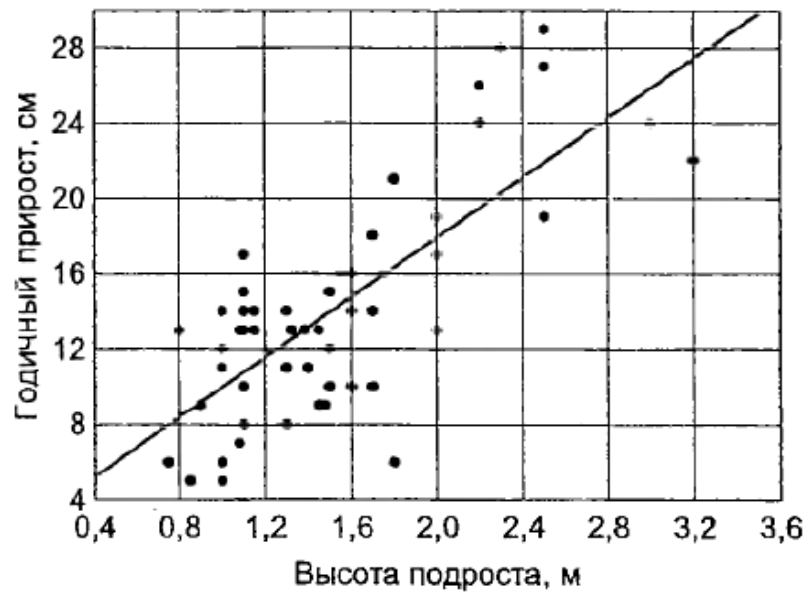


Рис.5.3. Зависимость годового прироста подроста сосны обыкновенной от его высоты

Эту закономерность можно объяснить тем, что в возрасте самосева сосна обыкновенная имеет неразвитую корневую систему и небольшую фотосинтезирующую поверхность. По мере разрастания корней и увеличения поверхности хвои ассимилирующая способность растений становится больше, приводя к сравнительно быстрому приросту древесины. На поверхности отвалов известнякового карьера связь исследованных двух переменных выражена в 1,6 раза сильнее ( $r = 0,729 \pm 0,022$ ). Различия в показателях подроста двух местообитаний может быть объяснена следующим образом. Известно, что известкование является эффективным способом химической мелиорации почв - за счёт улучшения использования растениями минеральных веществ, уменьшения кислотности почв, улучшения их физико-химических свойств, активизации деятельности почвенных микроорганизмов и т.д. (Артюшин, Державин, 1984).

Видимо, карбонат кальция, поступающий в среду в виде мелкодисперсной пыли в ходе открытых горных работ на Юлдашевском известняковом карьере на пробной площади № 2, обусловил лучший рост подроста.



Статистическая оценка изменчивости подроста сосны обыкновенной в  
разных лесорастительных условиях

Годы	В среднем, см	Пределы изменений, см	Коэффициент вариации С, %
Выборка №1			
2013	33,7 ± 2,2	10-56	34,9
2012	27,7 ± 1,6	14-47	30,3
2011	19,5 ± 1,1	7-32	31,0
2010	14,8 ± 0,9	7-24	31,7
2009	11,8 ± 0,7	5-18	32,7
Выборка №2			
2013	32,0 ± 0,9	11-55	31,1
2012	27,7 ± 1,7	8-50	33,3
2011	23,6 ± 2,3	8-64	50,5
2010	15,1 ± 1,4	6-28	40,1
2009	16,4 ± 1,2	8-29	39,4

Коэффициент вариации здесь в 5 раз меньше варьируется по пяти годам измерения ( $C = 6,72\%$ ), что можно объяснить лучшей реализацией генетически заложенного потенциала для проявления групповой (популяционной) изменчивости. Наблюдается успешное зарастание подростом сосны обыкновенной неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения Башкирского Зауралья. Оно заключается в увеличении численности растений из года в год и повышении качества подроста - нарастающем повышении годичного прироста в высоту.





Рис.5.4. Успешное зарастание подростом сосны обыкновенной неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения Башкирского Зауралья

Таблица 5.2

Статистическая оценка изменчивости подроста сосны обыкновенной в разных лесорастительных условиях (по годам)

№	Ср.	min	max	С,%	ошибка
На мелкозем					
1	19,61000	7,800000	40,50000	10,50074	53,54786
2	14,12000	4,600000	26,40000	6,95394	49,24889
3	14,23000	4,200000	30,10000	7,73435	54,35240
4	12,97000	3,200000	30,20000	7,75200	59,76867
5	15,74000	6,900000	36,90000	8,54624	54,29632

6	15,90000	7,600000	38,70000	9,08833	57,15932
7	14,56000	6,400000	37,40000	9,14406	62,80259
8	13,39000	6,100000	34,10000	8,66121	64,68417
9	14,12000	6,300000	28,40000	6,76540	47,91361
10	15,63000	4,500000	31,30000	8,21246	52,54295
11	14,98000	6,100000	28,40000	6,85886	45,78680
12	14,70000	4,200000	27,90000	7,10712	48,34773
13	14,40100	4,300000	22,40000	6,53213	45,35884
14	12,86000	5,100000	19,20000	4,75983	37,01269
15	11,09000	6,200000	16,10000	3,34314	30,14550
16	9,23000	5,400000	11,50000	2,19598	23,79178
17	11,09000	6,100000	17,80000	4,13722	37,30582
18	12,21000	6,200000	30,80000	7,18338	58,83197
19	8,21429	4,100000	12,60000	2,67235	32,53290
Ровное место под пологом леса					
1	12,57000	7,40000	18,70000	4,323849	34,39816
2	11,38000	7,20000	16,10000	3,128649	27,49252
3	10,59000	5,10000	18,20000	4,471005	42,21913
4	11,82000	6,20000	22,80000	4,753198	40,21318
5	11,08000	6,30000	17,10000	3,630978	32,77056
6	14,55000	7,40000	30,20000	7,186600	49,39244
7	12,15000	4,20000	19,10000	5,176281	42,60314
8	11,53000	4,10000	23,40000	5,467083	47,41616
9	11,20000	4,50000	18,20000	4,266406	38,09291
10	11,71000	5,20000	28,40000	6,968572	59,50958
11	11,75000	5,20000	25,10000	5,766040	49,07268
12	12,99000	6,90000	27,40000	6,061985	46,66655
13	13,63000	6,50000	27,10000	6,271815	46,01479
14	14,26250	11,20000	24,20000	4,497281	31,53221

15	12,66250	7,30000	17,80000	3,148668	24,86608
16	16,65000	6,10000	27,20000	6,932748	41,63813
17	10,58000	4,30000	16,50000	5,406200	51,09830
У завода УКРЗ на валунах					
1	9,47000	4,100000	20,20000	4,794916	50,63270
2	8,52000	4,300000	15,10000	3,662361	42,98546
3	8,26000	4,200000	15,30000	3,623442	43,86734
4	9,32000	3,800000	20,50000	4,945436	53,06261
5	8,89000	4,600000	18,40000	3,895995	43,82447
6	8,69000	2,500000	14,60000	3,660131	42,11888
7	9,83000	2,600000	30,80000	7,845459	79,81138
8	8,19000	3,500000	13,40000	3,933743	48,03105
9	8,04000	2,100000	14,50000	4,281277	53,24971
10	8,58750	5,100000	14,20000	2,896026	33,72373
11	9,66667	6,400000	17,30000	3,973747	41,10773
12	10,50000	4,100000	15,40000	4,252999	40,50475
13	14,03333	8,200000	17,50000	5,081666	36,21140
14	11,66667	6,300000	17,40000	5,559077	47,64923
У шахты - контроль					
1	57,23000	39,20000	72,40000	9,990001	17,45588
2	54,98000	46,80000	67,30000	7,225695	13,14241
3	42,36000	33,10000	51,20000	5,074818	11,98021
4	34,81000	25,60000	41,50000	5,767813	16,56941
5	30,76000	26,20000	36,10000	3,576218	11,62620
6	24,91000	15,40000	35,60000	6,274189	25,18743
7	21,45000	11,20000	28,40000	5,775032	26,92323
8	18,66667	17,40000	20,10000	1,357694	7,27336

Сравнение процессов лесовозобновления сосной обыкновенной и березой повислой в Башкирском Предуралье под пологом леса (Гатин,

Музафарова, Кулагин, 2006) и наши полевые рекогносцировочные исследования показывает, что отвалы заселяются даже более успешно. Более того, хорошая интенсивность освещения на открытых поверхностях промышленных отвалов позволяет подросту расти в высоту намного быстрее, чем под пологом леса (рис. 5.6). Этот график был построен по данным, приведенным в таблице 5.2. Это заключение справедливо для разных экотопов с различными экологическими условиями.

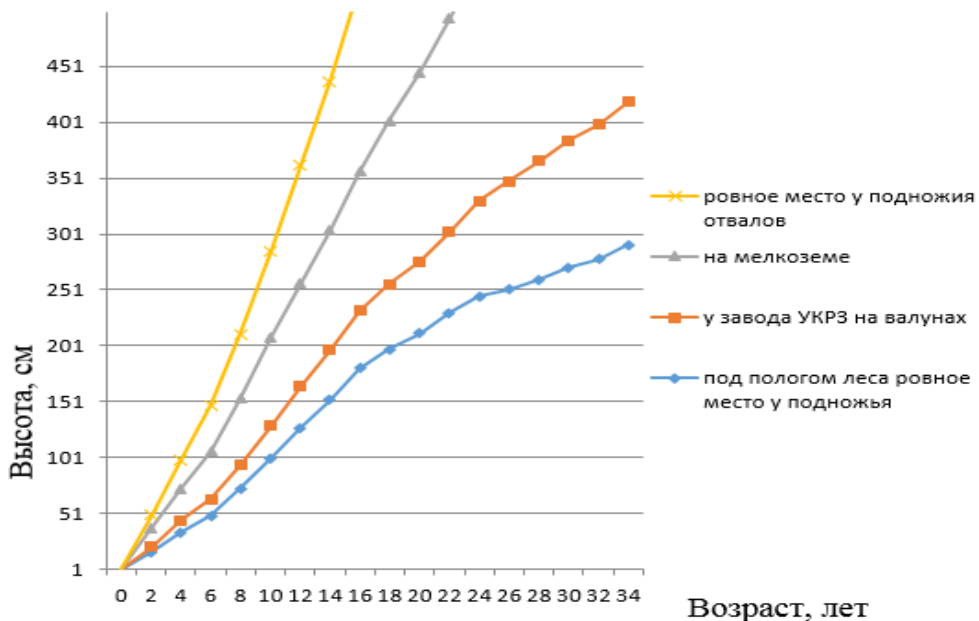


Рис.5.6. Ход роста подростка сосны обыкновенной в разных экологических условиях техногенных земель

В следующем разделе мы более подробно рассмотрим плотность древесины, так как показатели физико-механических свойств древесины в той или иной степени связаны с ее плотностью. На плотность древесины оказывает влияние форма ствола и характер развития кроны. Анализ подростка необходим для использования в качестве контроля подростка сосны обыкновенной на промышленных отвалах в Башкирском Зауралье. Для подбора этих участков важным было, чтобы лесорастительные условия в них были сходными с условиями на промышленных отвалах.

## ГЛАВА 6. ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ДРУГИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

В данном разделе приведены основные результаты сравнительного анализа одного из важнейших физико-механических показателей древесины – ее плотности. В качестве контроля взяты деревья из прилегающего к техногенной территории Учалинского горно-обогатительного комбината, как опыт – деревья, произрастающие на поверхности промышленных отвалов. Для повышения сопоставимости данных, в обеих выборках в анализ включены деревья одного класса возраста с близкими диаметрами и высотами. Рассмотрение полученных результатов показало следующие основные закономерности.

В природных насаждениях достигается большая вариабельность плотности древесины – при данной влажности и при  $W=12\%$  коэффициент вариации составил одинаковое значение  $23,0\%$ , абсолютные значения изменялись в пределах  $194,43 - 383,8$  г/куб. см (таблица 6.1). На промышленных отвалах показатель был меньше более чем в два раза -  $9,7\%$ , пределы изменения  $377,7- 433,3$  г/куб. см. Другая закономерность заключается в том, что в техногенных условиях плотность древесины выше в  $1,4$  раза, чем в контрольном насаждении сосны обыкновенной, расположенном в условиях естественной среды. Это подтверждается и объясняется разной толщиной годичных колец древесины. У деревьев с промышленных отвалов она меньше и слабее варьируется. В частности, в среднем здесь получено значение  $1,6\pm 0,1$  мм, изменяющийся в пределах  $1,5$  до  $1,7$ , коэффициент вариации  $7,0\%$ . В контроле соответствующие данные следующие:  $1,8\pm 0,1$  мм,  $1,5-2,1$ ,  $12,2\%$ . Такие же тенденции и закономерности наблюдались и по другим физико-механическим свойствам древесины - твердость, предел прочности на растяжение, предел прочности при сжатии и при статическом изгибе, прочность древесины при сдвиге и т.д. В связи с тем, что эти исследования не завершены, они будут приведены в готовящейся диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

Таблица 6.1

Показатель	Плотность		Толщина годовых колец, мм	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
Среднее значение	405,5±27,8	284,3±21,8	1,6±0,1	1,8±0,1
Пределы изменения	377,7- 433,3	194,43 - 383,8	1,5-1,7	1,5-2,1
Коэффициент вариации, %	9,7	23,0	7,0	12,2

Как было неоднократно подтверждено учеными (Вихров В.Е., 1949, Волынский В.Н., 2000), показатели физико-механических свойств древесины определенно взаимосвязаны и зависят от ее структуры, плотности и размеров. Исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что прочностные и упругие свойства древесины находятся в прямой зависимости от плотности, суммарно отражающей особенности ее анатомического строения (Алексеев И.А., Полубояринов О.И., 2006, Лавров, М.Ф., 2014).

## ГЛАВА 7. АНАЛИЗ ГЕНОФОНДА ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ

Учитывая высокую стоимость таких работ, в условиях России в лесной зоне перспективно использование естественного зарастания техногенных территорий древесно-кустарниковой растительностью. Особенно высоким потенциалом в этом обладает такой «вид-пионер», как сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), являющийся одним из основных лесообразователей Евразии. По этой причине актуальными являются исследования механизмов адаптации растения к экстремальным условиям среды на техногенных территориях. Влияние промышленного загрязнения на генетическую изменчивость, внутри- и межпопуляционную дифференциацию в древостоях сосны обыкновенной изучено достаточно. Но особенности воспроизводства генофонда популяций в молодняках при зарастании техногенных территорий этим видом практически исследованы гораздо меньше. В Польше проведены сравнительные исследования полиморфизма 10 изоферментных локусов выборки подроста 10-15 лет, произрастающего в условиях загрязнения цинком, и 9 природных насаждений вне территории техногенного загрязнения. Выявленные существенные различия в генотипическом составе этих возрастных групп свидетельствуют о перспективности таких исследований для изучения адаптивной стратегии вида в условиях техногенеза. Знания о механизмах формирования генетической структуры нового поколения сосновых лесов на техногенных территориях могут быть полезными не только в научном отношении, но также необходимыми для управления процессами естественной лесной рекультивации нарушенных земель. Целью данного раздела ВКР является анализ результатов изучения генетического разнообразия и дифференциации подроста сосны обыкновенной, произрастающего в условиях загрязнения тяжелыми металлами, проведенного совместно с к.б.н. Тагировой А.А. (полученные

совместные данные приняты для печати в журнал, включенный в базу данных Scopus).

В результате проведенного исследования установлено, что в выборках лишь два локуса были диаллельными - Aat-1 и Dia-1 (Приложение 3). В GDH обнаружены три аллеля. Более полиморфными оказались Lar-1, Lar-2 и Skdh-1, каждый с 4 аллелями. В оставшихся трех локусах выявлены не только редкие аллозимы - полиморфизм обнаружен и по более частым аллелям. По 5 аллелей имеют Aat-2, Aat-3 и Fdh-1, наиболее полиморфным оказался 6Pgdh-1 с 6 аллелями. В средней выборке подростка в районе деятельности УГОК выявляется относительно высокое аллельное разнообразие ( $A=2,5\pm 0,1$ ), по сравнению с материнским насаждением. Это превосходство образовалось за счет редких аллелей. При введении 5 %-ного критерия полиморфизма показатель ( $A=1,7\pm 0,1$ ) снижается даже до меньшего, по сравнению с выборкой деревьев, уровня (табл.). Ожидаемая гетерозиготность подростка на техногенных землях УГОК ( $H_E = 0,264\pm 0,007$ ) и деревьев в материнском насаждении практически одинакова. Но в материнском насаждении наблюдаемая гетерозиготность ( $H_O = 0,203$ ) оказалась ниже, чем в любой из выборок подростка (табл.). Этот феномен может быть следствием сравнительно высокой доли редких аллелей при лесовозобновлении промышленных отвалов и прилегающих техногенных земель (по статистическим причинам вероятность их встречи в гомозиготном состоянии мала). Мощным резервом для регулирования уровня наблюдаемой гетерозиготности обладает система скрещивания сосны обыкновенной. Для вида характерно самоопыление, уровень которого зависит от многих условий среды (густоты древостоев, климатических и погодных условий, интенсивности цветения и др.). Потомство от самоопыления, имеющее пониженную жизнеспособность и более слабый рост из-за инбредной депрессии, в сравнительно благоприятных экологических условиях может пережить ранние этапы онтогенеза (зародыши, сеянцы, подрост). Но в экстремальных для сосны обыкновенной условиях среды оно может



элиминироваться быстрее, что приводит к большему повышению наблюдаемой гетерозиготности выживших особей.

Исследованные выборки подроста сосны обыкновенной расположены на небольшом удалении друг от друга - на участке размером около 12 квадратных километров. Генетическая изменчивость в группах выборках подроста под пологом леса ( $A=2,5\pm 0,1$ , изменения от 2,3 до 2,8;  $H_O=0,234\pm 0,011$ , 0,207-0,260;  $H_E=0,247\pm 0,016$ , 0,201-0,273) и на промышленных отвалах ( $A=2,4\pm 0,2$  1,9-3,1;  $H_O=0,244\pm 0,007$ , 0,225-0,277;  $H_E=0,262\pm 0,007$ , 0,240-0,298) варьируется в широком интервале. По частотам аллелей также выявлен относительно высокий уровень различий выборок подроста. Лишь в локусе Aat-1 и Lap-1 обнаружены практически инвариантные аллели (таблица). В других локусах их частоты (приведен пример частых аллелей) изменялись в пределах 0,844-0,969 (Skdh-1), 0,625-0,766 (Aat-2), 0,828-0,969 (Fdh-1), 0,844-1,000 (Lap-2), 0,604-0,800 (Aat-3), 0,625-0,875 (Dia-1), 0,594-0,908 (Gdh-1), 0,438-0,906 (6Pgdh-1). Доля генетической изменчивости  $F_{ST}$ , приходящаяся на внутривыборочную компоненту, составила (в %) 1,2 (Aat-3), 1,9 (Skdh-1), 2,0 (Fdh-1), 2,4 (Aat-2), 2,7 (Aat-1), 2,9 (Lap-1), 3,6 (Dia-1), 6,1 (Gdh-1), 6,5 (Lap-2) и 6,9 (6Pgdh-1).

Вопросы воспроизводства генофонда популяций лесных древесных растений в новых поколениях в природных условиях промышленного загрязнения неоднократно привлекали внимание исследователей. В основном, сравнивались популяции, в разной степени удаленные от источника загрязнения. Исследовались разные субпопуляции одного и того же насаждения, в разной степени поврежденные этими поллютантами – выборки «устойчивых» и «чувствительных» групп деревьев. Сравнивались разные возрастные когорты в пределах отдельных насаждений. Однако наша работа является единственным исследованием, в которой приведены сведения о внутривыборочной дифференциации подроста сосны обыкновенной в техногенных условиях по изоферментным локусам. Ее уровень (в среднем 3.8 %) характерен для межпопуляционных различий

сосны обыкновенной, например, в пределах всего Южного Урала или северо-запада России (Янбаев, 2002). Часть аллелей показывают особенно большую генетическую подразделенность выборок подроста техногенной зоны УГОК (рис. 7.1). Например, значения  $F_{ST}$  составили значения 0,070 (аллель 6-Pgdh-1<sup>2</sup>), 0,089 (6-Pgdh-1<sup>6</sup>), 0,100 (6-Pgdh-1<sup>1</sup>), 0,092 (Gdh-1<sup>3</sup>), 0,108 (Lap-2<sup>2</sup>). Сравнительно большая гетерогенность изученных выборок по числу и частоте аллелей не является следствием включения в анализ древостоя (выборка TSU) и подроста из промышленных отвалов другого горнодобывающего предприятия (SDS). Подтверждение этому получено при вычислении не только показателя межвыборочной подразделенности  $F_{ST}$ , но и генетических расстояний между выборками. В среднем показатель составляет значение  $D=0,015$  с изменениями по отдельным парам от 0,003 до 0,032. При исключении из анализа материнского насаждения и выборки подроста из отвалов БМСК эта величина снижается несущественно - до  $D=0,012$  (0,003-0,028).

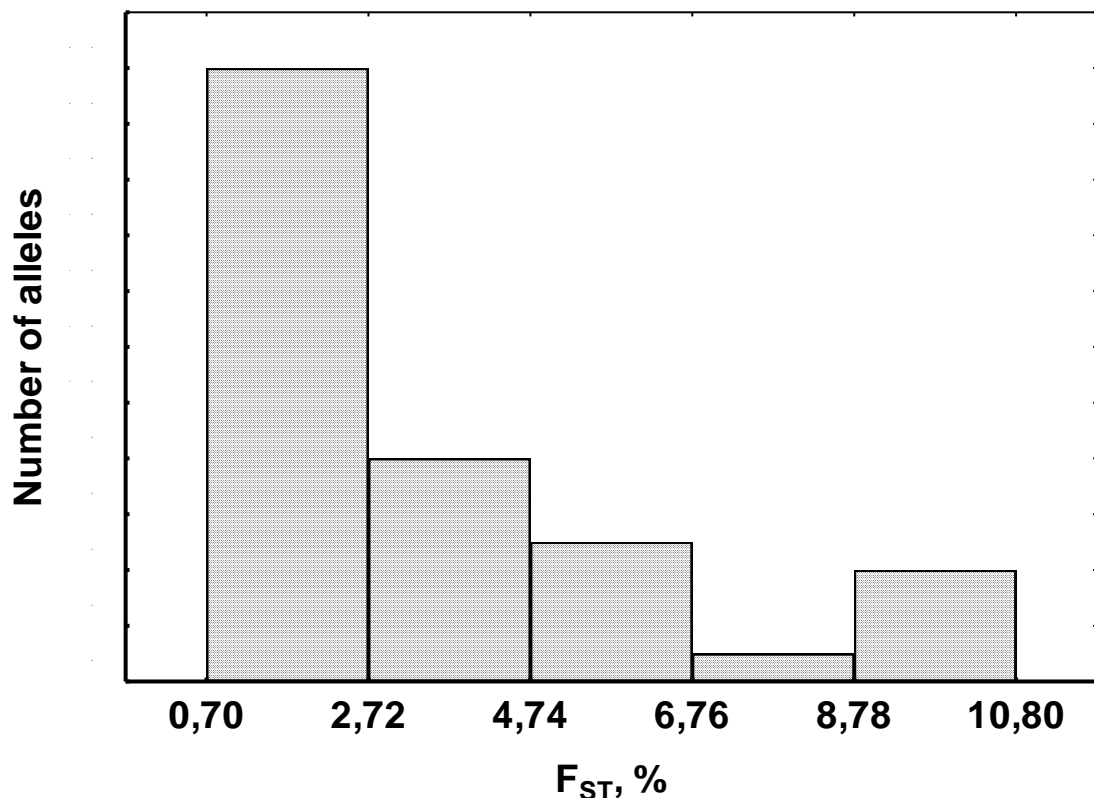


Рис. 7.1. Распределение аллелей по межвыборочной подразделенности

Попарные генетические расстояния между выборками варьировали:  $D=0,026-0,032$  (5 случаев),  $D= 0,019-0,026$  (13),  $D= 0,013-0,019$  (26),  $D= 0,006-0,013$  (29),  $D=0,001-0,006$  (15). Таким образом, подрост на изученной техногенной территории по изоферментным локусам дифференцирован на уровне географически разделенных популяций.

На промышленных отвалах и вблизи них существует большая гетерогенность лесорастительных условий. Техногенные экотопы здесь сильно дифференцированы топографически, по степени фитотоксичности грунтов, а также отличаются по физическим, химическим, механическим, фракционным и гранулометрическим свойствам горных пород, по темпам первичного почвообразования (на многих участках лесовозобновления наблюдается физическое выветривание породы и накопление органического вещества). Несомненно, такие различия в экологических условиях должны оказывать сильное влияние на выживаемость и ход роста подроста. Для демонстрации этого явления нами измерена величина годичного прироста в высоту у подроста четырех выборок, расположенных на поверхности отвалов (SDU1, SDU2, SDU3) у их подножия на краю древостоя (SSU4). Полученные данные сравнивались с годичным приростом в высоту групп подроста, произрастающего также в хорошо освещенных условиях, но вне прямого воздействия промышленного загрязнения УГОК на удалении около 20 км от предприятия. В среднем прирост в год в техногенных условиях варьировался от  $9,5\pm 1,5$  см (различия между растениями в пределах 4,1-20,2 см, коэффициент вариации 50,6 %) до  $56,7\pm 1,6$  см (50,2-63,5 см, 8,8 %). В контроле вне зоны промышленного загрязнения получены следующие результаты:  $57,2\pm 3,2$  см, 39,2-72,4 см и 17,5 %, соответственно. В природных условиях, как показало исследование годичного прироста вне прямого воздействия УГОК, такая вариабельность существенно ниже. Поэтому именно контрастность экологических условий техногенных земель предприятия могла быть причиной столь больших различий в ходе роста подроста из разных местообитаний техногенных земель. Соответственно,

растения из столь различных экотопов должны подвергаться разному давлению естественного отбора, что может привести к более выраженной дифференциации по генотипическому составу.

Как показало данное исследование, в лесовозобновлении техногенных земель УГОК задействован не только не только близлежащий древостой, но и другие, более удаленные, сосновые насаждения. Это доказывается тем, что почти половина выявленных аллелей подроста (18 из 39 или 46,2 %) у деревьев близлежащего насаждения не обнаруживаются (таблица). Как вид-пионер, сосна обыкновенная способна к эффективному распространению семян на относительно дальние расстояния, что должно приводить к формированию генетически относительно однородного семенного пула. Тем не менее, отмечена особо высокая концентрация тех или иных аллелей в отдельных местообитаниях. Например, аллель 6-Gdh-1<sup>3</sup> не обнаружен в 8 выборках подроста (таблица), в двух из них носителями аллеля с частотами по 0,016 являются 2 растения. Но в одной выборке он встречается с частотой 0,125. В локусах, показавших особо высокую межвыборочную подразделенность, выявлены отклонения наблюдаемых распределений генотипов от теоретически ожидаемых частот: в выборках SDU3 (6-Pgdh-1,  $p < 0,01$ ), SSU3 (Lap-2,  $p < 0,01$ ; Skdh-1,  $p < 0,01$ ), SSU4 (Lap-2,  $p < 0,05$ , 6-Pgdh-1,  $p < 0,01$ ) и SDU1 (6-Pgdh-1,  $p < 0,05$ ). По нашему мнению, этот феномен связан с относительно большим вкладом отдельных материнских деревьев в формирование подроста в том или иной части промышленных отвалов. Примыкающее к отвалам материнское насаждение, является сосново-березовым, в котором доля сосны обыкновенной сильно варьируется. «Стена» насаждения местами является очень плотной за счет густого березняка и соснового молодняка. Плодоносящие деревья сосны обыкновенной репродуктивного возраста вдоль границы насаждения представлена иногда редко. В этих условиях может наблюдаться локальная концентрация тех или иных аллелей, менее частых во всей популяции, или уменьшение их частот.

Техногенное загрязнение земель в настоящее время становится проблемой планетарного уровня. Масштаб проблемы, дороговизна способов технической рекультивации стимулируют разработку способов фиторемедиации – для извлечения растениями тяжелых металлов из среды и их аккумуляции в корнях и надземной части в метаболитах в менее опасной форме. В этом рекомендуемых списках доминируют травянистые растения, хотя древесные растения, такие как сосна обыкновенная, для фиторемедиации загрязненных земель обладают своими известными преимуществами. Среди них – устойчивость к тяжелым металлам, способность к произрастанию в широком диапазоне экологических условий, развитая корневая система и большая надземная биомасса, быстрота роста и др. Особенно важными являются такие биоэкологические свойства, как обилие и большая дальность расселения семян, их высокая всхожесть, позволяющие эффективно заселять новые техногенные местообитания без вмешательства человека. В результате данного исследования показано, что в техногенной зоне горнодобывающих предприятий у подростка к тому же формируется богатый генофонд, воспроизводящий генофонд локальной популяции сосны обыкновенной. Он пространственно структурирован, что повышает устойчивость всей популяции к воздействию жестких условий промышленного загрязнения. Это еще один аргумент в пользу точки зрения, что техногенные земли перспективно оставлять для лесной рекультивации – естественному лесовозобновлению, а также необходимо содействовать этому процессу.

## ВЫВОДЫ

1. Установлена зависимость видового состава подроста древесных растений при лесовозобновлении промышленных отвалов от состава близлежащих насаждений - влияние на него приуроченности к сторонам света и к условиям освещенности.
2. Основным лимитирующим фактором для успеха лесовозобновления выступает интенсивность поступления из близлежащих насаждений семенного материала.
3. Основной экологический фактор успешности лесовозобновления на промышленных отвалах – условия освещения. Здесь отсутствует полог материнских деревьев, подрост сосны обыкновенной формируется в условиях хорошего верхнего и бокового освещения.
4. В условиях промышленных отвалов годичный прирост подроста сосны обыкновенной с увеличением возраста увеличивается нарастающими темпами.
5. В техногенной зоне горнодобывающих предприятий у подроста формируется богатый генофонд, воспроизводящий генофонд локальной популяции сосны обыкновенной. Он пространственно структурирован, что повышает устойчивость всей популяции к воздействию жестких условий промышленного загрязнения.
6. Техногенные земли перспективно оставлять для лесной рекультивации – естественному лесовозобновлению, а также необходимо содействовать этому процессу.
7. Экспериментально подтверждено, что прочностные свойства древесины предопределяются ее плотностью. Растения, характеризующиеся интенсивным ростом, формируют менее плотную древесину. Физико-механические свойства древесины зависят от интенсивности роста. Показано, что в случае быстрого роста дерева формируется древесина с меньшей плотностью и, соответственно, меньшим сопротивлением на излом.
8. Техногенные ландшафты пригодны для лесной рекультивации – естественному лесовозобновлению и созданию лесных культур.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. –№ 4, 1989. – 51-57 с.
2. Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. – 38-54 с.
3. Алексеев В.А., Полубояринов О.И. Лесное товароведение с основами древесиноведения: учеб.пос-е. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006 – 457 с.
4. Арманд Д. Л. Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов. М.: Наука, 1983. – 237 с.
5. Артюшин А.М, Державин Л.М. Краткий справочник по удобрениям. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1984. – 208 с.
6. Атрохин В.Г. Лесоводство и дендрология: учебник для техникумов. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 368 с.
7. Аюпов Р. С. Республика Башкортостан в годы Великой Отечественной войны. Уфа, 1993. – 8 с.
8. Балков В. А. Водные ресурсы Башкирии. Уфа, Башкнигоиздат, 1978. — 173 с.
9. Баталов А. А., Гиниятуллин Р. Х., Кагарманов И. Р. Salicaceae – их участие в формировании растительного покрова техногенных ландшафтов Южного Урала // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: тез. докл. конф., посвящ. памяти Л. М. Черепнина / ИЛИД СО АН СССР. Красноярск, – 1991 – 73-74 с.
10. Баталов А.А., Мартьянов Н.А., Кулагин А.Ю., Горюхин О.Б. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала /БНЦ Уро АН СССР. Уфа, 1989. – 140 с.
11. Башкирская энциклопедия. Гл. ред. М. А. Ильгамов т. 1. А-Б. 2005. — 624 с.; ISBN 5-88185-053-X. т. 2. В-Ж. 2006. –624 с. ISBN 5-88185-062-9.; т. 3. З-К. 2007. –672 с. ISBN 978-5-88185-064-7.; т. 4. Л-О. 2008. –672

с. ISBN 978-5-88185-068-5.; т. 5. П-С. 2009. –576 с. ISBN 978-5-88185-072-2.; т. 6. Советы нар. хозяйства. -У. 2010. –544 с. ISBN 978-5-88185-071-5; т. 7. Ф-Я. 2011. –624 с.. науч.. изд. Башкирская энциклопедия, г. Уфа.

12. Белан Л.Н. Эколого-геохимическое состояние горнорудных районов Башкирского Зауралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2005. Том 6 (44). С. 113-117.

13. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. – М., 1998. – 592 с.

14. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в STATISTICA в среде Windows 95 (основы теории и интенсивная практика на компьютере). – М., 1999. – 382 с.

15. Боровиков В.П. Популярное введение в систему STATISTICA. – М., 1998. – 266 с.

16. Бурангулова М.Н., Гарифуллин Ф.Ш. И др. Черноземы Башкирии. - Уфа: Башкнигоиздат. 1969. – 230 с.

17. Ведерников К.Г. Лесная рекультивация отвалов горнодобывающей промышленности Южного Урала // Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий. Материалы IV Республиканской геологической конференции. – Уфа, 2001 – Том 1 (Вопросы геологии, геологические памятники, геоэкология). – 308-310 с.

18. Вихров В. Е. Изменение крепости древесины в зависимости от процента по задней части годичного слоя и влажности / Вихров В.Е. //Труды Арханг. лесотехн. ин-та. 1949. 175-178 с.

19. Волынский, В.Н. Взаимосвязь и изменчивость физико-механических свойств древесины. Монография. 2-е издание – Архангельск: АГТУ, 2000. – 196 с.

20. Гатин И.М., Музафарова А.А., Кулагин А.А. Характеристика возобновительного потенциала древесных растений на техногенных



территориях // Вестник Башкирского государственного университета, 2006. – 46-47 с.

21. Галеев Э.И., Янбаев Ю.А., Коновалов В.Ф., Ганиев Р.М. Внутрипопуляционная изменчивость березы повислой. // Сборник материалов всероссийской научно–практической конференции "Биологические науки в высшей школе" (19-го июля 1998 г.). – Бирск: Изд-во БирГПИ, 1998. – 98-99 с.

22. Гвоздецкий Н. А. Основные проблемы физической географии: Учеб. пособие. -М.: Высшая Школа, 1979. – 222 с.

23. Герасимов И. П. Советская конструктивная география: Задачи, подходы, результаты. М.: Наука, 1976. – 208 с.

24. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

25. ГОСТ 17.5.3.04-83. Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель.

26. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Республике Башкортостан в 2016 г. /Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Башкортостан Уфа, 2017. – 220 с.

27. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2017 году. Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан. 2017. – 330 с.

28. Григорьев А. А. Развитие теоретических проблем советской физической географии. М.: Наука, 1965. – 246 с.

29. Давыдычев А.Н., Кулагин А.Ю., Зайцев Г.А., Уразгильдин Р.В., Емелев С.А. Характеристика и состояние лесных насаждений на шиханах ТраТау и ЮракТау (Предуралье) // Охраняемые природные территории – основа экологической устойчивости региона. Материалы научно-практической конференции. – Уфа. Гилем, 2010. – 97-107 с.

30. Дюк В., Эммануэль В. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. Краткий обзор статистических пакетов. Спб., 2003. – 368 с.

31. Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте нефтепроводов от 6 февраля 1997 г. N РД 39-00147105-006-97.

32. Исаченко Л. Г. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. М.: 1965. – 328 с.

33. Кашапов Р.Ш., Курамшина Н.Г., Магадеев М.Ш., Фахретдинова Г.Р. Экология и безопасность жизнедеятельности Башкирского Зауралья // Башк. пед. ин-т. – Уфа, 1999. – 97 с.

34. Ковалев С.Г., Кулагин А.Ю. Природные ресурсы и природопользование. Учебное пособие. Уфа: БГПУ. 2012. – 308 с.

35. Колесник С. В. Общие географические закономерности Земли. М.: 1970. – 280 с.

36. Колесников Б.П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации земель в СССР. - Новосибирск: Наука, 1974. – 12-25 с.

37. Колесников Б.П., Пикалова Г.М. Некоторые результаты работ лаборатории промышленной ботаники Уральского университета по фитомелиорации промышленных отвалов // Рекультивация в Сибири и на Урале. - Новосибирск: Наука, 1970. – 89-93 с.

38. Конюхов А.Л. Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: Учебное методическое пособие. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 105 с.

39. Коршевер Н.Г. Работы по дереву и стеклу, 2008г., 319 с.

40. Кулагин А.Ю., Кутляхметов А.Н., Курманова Л.Г., Колесникова А.М. Разработка медно-колчеданных месторождений Башкирского Зауралья и состояние водных ресурсов региона // Межведовственный сборник тезисов,

посвященных Всемирному дню водных ресурсов. Уфа: Информреклама, 2010. – 111-115 с.

41. Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Лесные насаждения как фактор оптимизации состояния окружающей среды урбанизированных территорий Башкирского Зауралья // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Хартия Земли - практический инструмент решения фундаментальных проблем устойчивого развития». - Казань: Татарское книжное издательство, 2016. – 160-162 с.

42. Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий. Уфа: Гилем, 2015. – 196 с.

43. Кулагин А.Ю. Лесная рекультивация, экологическая коррекция и восстановление биологической продуктивности на промышленных отвалах в Республике Башкортостан // Сборник тезисов Территориальной конференции по выдвижению делегатов для участия в IV Всероссийском съезде по охране окружающей среды. – Уфа: Управление Росприроднадзора по Республике Башкортостан. 2013. – 66-67 с.

44. Кулагин А.Ю. Лесная рекультивация отвалов горнодобывающей промышленности в Республике Башкортостан: 25-летний опыт // V международная научная конференция «Восстановление нарушенных природных экосистем». – Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины, 2014. – 315-317 с.

45. Кулагин А.Ю. Экологическая коррекция, лесная рекультивация и восстановление биологической продуктивности нарушенных ландшафтов в Республике Башкортостан // Материалы парламентских слушаний по вопросу «О состоянии плодородия земель сельскохозяйственного назначения в Республике Башкортостан: проблемы и пути решения». – Уфа: Секретариат Гос.собрания– Курултая Республики Башкортостан, 2015. – 76-80 с.

46. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. – М.: Наука, 1974. – 125 с.

47. Кулагин Ю.З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование. – М.: Наука, 1985. – 117 с.
48. Кулагин Ю.З. О кризисных для древесных растений ситуациях // Журнал общей биологии. – Т.38. – № 1, 1977. – 11-14 с.
49. Лавров М.Ф. Определение качественных показателей древесины методом сверления / М.Ф. Лавров, Д.К. Чахов, И.А. Докторов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2014 – № 5 – 196-201 с.
50. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А. и др. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. – 416 с.
51. Лукьянец А.И., Шилова И.И. Ландшафтно-экологическое зонирование территорий, подверженных воздействию дымо-газовых выделений медеплавильных предприятий Урала // Человек и ландшафты. Свердловск: УНЦАН СССР, 1979. – 28-31 с.
52. Максютов Ф.А. Районирование барьерных ландшафтов Южного Урала и Приуралья // Проблемы природного районирования и охраны природы. Уфа: Изд-во Башкирского ун-та, 1982. – 9 - 19 с.
53. Махонина Г.И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1979. – 176 с.
54. Мильков Ф. Н. Физико-географический район и его содержание. М.: 1956. – 219 с.
55. Миркин Б.М., Хазиев Ф.Х. и др. Экологический императив сельского хозяйства Республики Башкортостан. - Уфа: Гилем, 1999. – 165 с.
56. Михайлов Н. И. Физико-географическое районирование. Итоги науки. География СССР. Вып. 4. - М.: ВИНТИ, 1967. – 148 с.
57. Михайлов Н. И. Физико-географическое районирование. М.: МГУ, 1971. – 89 с.
58. Музафарова А.А. Пространственная структурированность генетической изменчивости сосны обыкновенной на промышленных отвалах

// Труды Сибайского института Башкирского государственного университета: сборник статей. – Ч.2. / Изд-е Сибайского института БашГУ. – Сибай, 2003. – 136-140 с.

59. Мукатанов А.Х. Вопросы эволюции и районирования почвенного покрова Республики Башкортостан. - Уфа: Гилем, 1999. – 227 с.

60. Нейронные сети. STATISTICA NeuralNetworks: Методология и технологии современного анализа данных / Под редакцией В.П. Боровикова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия - Телеком, 2008. — 288 с. — 1000 экз. — ISBN 978-5-9912-0015-8.

61. Некрасов Н. Н. Химизация в народном хозяйстве СССР, М., 1955. – 239 с.

62. Николаев В. А. Ландшафты азиатских степей. М.: Изд-во МГУ, 1999. – 288 с.

63. Обзор состояния окружающей среды Башкирского Зауралья в 2007 г. Сибай, 2007. – 62 с.

64. Обзор состояния окружающей среды в юго-восточном регионе Республики Башкортостан в 2008 году. – Сибай, 2009. – 74 с.

65. Одум Ю. Экология. В 2-х томах. М.: Мир, 1986. Т.1 – 328 с. Т.2 – 376 с.

66. Подходы к эколого-географическому районированию Башкортостана // Экологические системы и приборы. - 2003 - МБ 1 1 . – 32-36 с.

67. Постановление Правительства Российской Федерации от 23.02.1994 г. № 140 "О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы" // Рос.газета, 2000 – 10-18 с.

68. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. – М.: Наука, 1964. – 190 с.

69. Преображенский В. С. Ландшафты в науке и практике. М.: Знание, 1984. – 48 с.

70. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 22.12.1995 г. № 525/67 "Об утверждении Основных положений о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы" // Российская газета, 2000. – 18-27 с.

71. Прокаев В. И. Основы методики физико-географического районирования. –Л.: 1967. –167 с.

72. Прокаев В. И. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. Ч. 1. Свердловск: 1973. –126 с.

73. Работнов Т.А. Фитоценология. М. 1992. – 352 с.

74. Радостева Э.Р., Бактыбаева З.Б., Муллагулова Э.Р., Суюндуков Я.Т., Кулагин А.Ю. Лесная рекультивация и начальные этапы почвообразования на отвалах медноколчеданного и бурогоугольного месторождений Республики Башкортостан // Международная конференция «Антропогенная трансформация природной среды». – Пермь, 2010. – 411 с.

75. Радостева Э.Р., Кулагин А.Ю. Биоаккумуляция металлов в органах древесных растений в условиях полиметаллических отвалов Учалинского горно-обогатительного комбината (Республика Башкортостан) // Известия Самарского научного центра РАН, 2011. – Т.13, № 5-2. – 200 с.

76. Радостева Э.Р., Кулагин А.Ю. Лесная рекультивация отвалов горнодобывающей промышленности: мониторинг состояния древесных растений в условиях отвалов Учалинского ГОК // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования. Материалы IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. 26-29 марта 2012 г. Часть II. Нижний Тагил: Нижнетагильская государственная социально-педагогическая академия, 2012. – 128-134 с.

77. Радостева Э.Р., Кулагин А.Ю. Лесная рекультивация промышленных отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза (Республика Башкортостан): фосфор как индикатор процессов почвообразования // Актуальные проблемы современной науки и образования. Биологические

науки: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Т. II. - Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. – 538-540 с.

78. Радостева Э.Р., Фаизова Л.И., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Процесс микоризации *Pinussylvestris* L. в отвальных почвогрунтах Кумертауского бурогольного разреза (Республика Башкортостан) // Вестник МГУЛ. Лесной вестник, 2011. – №3. – 55-57 с.

79. Радостева Э.Р., Кулагин А.Ю. Содержание тяжелых металлов в системе «почвогрунт - сосна обыкновенная» на отвалах Кумертауского бурогольного разреза // Аграрный вестник Урала, 2011. – №4. – 60-62 с.

80. Рихтер Г. Д. Природное районирование СССР // Изв. АН СССР, Сер. Геогр., 1961. №3. – 3-13 с.

81. Рихтер Г. Д. Зональность и система таксономических единиц физико-географического районирования // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1965. — № 5. – 3-15 с.

82. Рождественский Л. П. Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. – 303 с.

83. Савинский Э. С., Химизация народного хозяйства и пропорции развития химической промышленности, М., 1972. – 131 с.

84. Семенова И.Н., Рафикова Ю.С., Ильбулова Г.Р. Воздействие предприятий горнорудного комплекса башкирского зауралья на состояние природной среды и здоровье населения прилегающих территорий // Журнал/Фундаментальные исследования, 2011. – № 1 – 29-34 с.

85. Солнцев В. Н. К теории природных комплексов // Вестн. МГУ, 1968. -№ 3. Сер. Геогр. – 14-27 с.

86. Тагирова О.В., Рыжова О.В., Кулагин А.Ю. Состояние насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) на отвалах Кумертауского бурогольного разреза // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Экология и природопользование: прикладные аспекты», 2018. – 332-335 с.

87. Тагиров В.В., Янбаев Ю.А., Тагирова А.А. О средовой и генетической составляющих различий прироста в высоту у сосны обыкновенной на заброшенных сельскохозяйственных землях // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20. № 3. – 889-891 с.
88. Тайчинов С.Н. Агрочувственное районирование Башкирии // Материалы по изучению почв Башкирской АССР. Вып. 1, 1960. – 4-22 с.
89. Тайчинов С.Н., Бурангулова М.Н., Бахтизин Н.Р. Серые коричнево- цветные лесные почвы // Почвы Башкирии. Т.1. - Уфа, 1973. – 188-202 с.
90. Фаизова Л.И., Радостева Э.Р., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Сравнительная характеристика анатомического строения эктомикориз *Pinussylvestris* L. при произрастании на медно-колчеданных отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината // Известия Самарского научного центра РАН, 2011. – Т.13, №1(4). – 930-932 с.
91. Федина А. Е. Физико-географическое районирование. М.: 1973. – 195 с.
92. Филиппова С. С. Химизация народного хозяйства — одно из направлений технического прогресса в СССР. Библиографический указатель, М., 1967.
93. Физико-географические районы Башкортостана. - Уфа: Изд-во БашГУ, 2003. – 88 с.
94. Хазиев Ф.Х. Почва и биоразнообразиие // Экология, 2001. – №3.– 13-19 с.
95. Хазиев Ф.Х. Исследование почв в республике Башкортостан // Вестник Академии наук РБ, 2011. – Т.16, №2.– 34-45 с.
96. Чеведаев А.А. Дуб, его свойства и значение. М.: Гос-лесбумиздат, 1963. – 233 с.
97. Черненькова, Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т.В. Черненькова. – М.: Наука, 2002. – 8-9, 20, 72-73, 91, 94-95 с.



98. Чибилев А. А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. -Свердловск, 1992. – 171 с.
99. Чибрик Т.С. Основы биологической рекультивации: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2002. – 172 с.
100. Чибрик Т.С., Лукина Н.В., Глазырина М.А. Характеристика флоры нарушенных промышленностью земель Урала: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2004. – 160 с.
101. Эколого-географический анализ территории Башкортостана // Экономика и управление. - 2003. - № 6. – 15-18 с.
102. Эколого-географическое районирование Башкортостана, - Москва: Химия, 2003. – 356 с.
103. Энциклопедия лесного хозяйства: в 2-х томах. – Т. 1. — М.: ВНИИЛМ, 2006. – 137 с.
104. Янбаев Ю.А., Музафарова А.А., Бахтиярова Р.М. Адаптация древесных растений к техногенному загрязнению: популяционно генетические аспекты (итоги 20-летних исследований) // Аграрная Россия, 2009. – № 12. – 147-148 с.
105. Янбаев Ю.А. Эколого-популяционные аспекты адаптации лесообразующих видов к условиям природной и техногенной среды. Автореф. дисс. доктора биологических наук: 03.00.16 / Ин-т экологии Волжского бассейна Рос. акад. наук. Тольятти, 2002. – 35 с.
106. Abramoff M.D., Magalhaes P.J., Ram S.J. Image processing with ImageJ // Biophotonics International, 11(7): 2004. – 36-42 p.
107. Adams V.T., Birkes D.S., Erikson V.J. Using genetic markers in to measure gene flow and pollen dispersal in forest tree seed orchards // Ecology and evolution of plant reproduction. - 1992.
108. Blanc-Jolivet C., Yanbaev Y., Kersten B., Degen B. A set of SNP markers for timber tracking of *Larix* spp. in Europe and Russia // Forestry. 2018. Vol. 91 (5). PP. 614-628.

109. Choi B., Nelson C., Tsunashima Y., Balter P. Open source, ImageJ based, web accessible tool for treatment plan evaluation. *Med Phys*, 34(6): 2477-2477, Jan 2007.
110. Chudzińska E., Diatta J.B., Wojnicka-Póltorak A. Adaptation strategies and referencing trial of Scots and black pine populations subjected to heavy metal pollution // *Environmental science and pollution research*. 2014. Vol. 21(3). PP. 2165-2177.
111. Davis B.J. Disc electrophoresis. 11. Methods and application to human serum proteins // *Ann. New York Acad. Sci.* 1964. Vol. 121. – 404-427 p.
112. Degen B., Scholz F. S Моторина patial genetic differentiation among populations of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Western Germany as identified by geostatistical analysis // *Forest Genetic.*, 1998. – N 5(3). –191-199 p.
113. Forrest I., Burg K., Klumpp R. Genetic markers: tools for identifying and characterizing Scotch pine populations // *Forest Systems*. 2000. Vol. 9. PP. 67-88.
114. Gabdrakhimov K.M., Khayretdinov A.F., Sultanova R.R., Konashova S.I., Konovalov V.F., Sabirzyanov I.G., Gabdelkhakov A.K., Isyanyulova R.R., Martynova M.V., Blonskaya L.N. Reproduction of Stable Pine Forests in the Southern Urals // *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018. Vol. 13. PP. 6494-6499.
115. Goncharenko, G.G., Silin, A.E, Padutov, V.E. Analysis of gene structure and differentiation in central and marginal *Pinus sylvestris* populations of Eastern Europe and Siberia. (1993). 29. 2019-2038.
116. Gregorius H.-R. The importance of genetic multiplicity for tolerance of atmospheric pollution // *Genetic effects of air pollutants in forest tree populations. Proceedings of the joint meeting of the IUFRO working parties (Grosshansdorf, August 3-7, 1987).* – Springer-Varlag Berlin Heidelberg, 1989. – 163-172 p.
117. Grant V. Gene flow and homogeneity of species populations // *Biol. Zbl.* - 1980. – V. 99. –157-169 p.

118. Larionova A., Ekart A.K. Isoenzyme diversity and differentiation of marsh Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) populations in the Western Siberia // *Eurasian Journal of Forest Research*. 2011. Vol. 14 (1). PP. 21-28.
119. Mahar A., Wang P., Ali A., Awasthi M.K., Lahori A.H., Wang Q., Li R., Zhang Z. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 126. PP. 111-121.
120. Manchenko G.P. Handbook of detection of enzymes on electrophoretic gels. G.P CRC Press, Inc. 1994. 574 pp.
121. Midhat L., Quazzani N., Hejjaj A., Ouhammou A., Mandi L. Accumulation of heavy metals in metallophytes from three mining sites (Southern Centre Morocco) and evaluation of their phytoremediation potential // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. Vol. 160. PP. 150-160.
122. Moodley K., Murrell H. A colour-map plugin for the open source, Java based, image processing package, ImageJ. *Computers and Geosciences*, 30(6): Jan 2004. – 609-618 p.
123. Nei M. Genetic distance between populations // *American Naturalist*. 1972. Vol. 106. PP. 283-291.
124. Ornstein L. Disc-electrophoresis. I. Background and theory // *Ann. NewYorkAcad. Sci*. 1964. V. 121. – 321-349 p.
125. Prus-Głowacki W., Nowak-Bzowy R. Genetic structure of a naturally regenerating Scots pine population tolerant for high pollution near a zinc smelter // *Water, Air & Soil Pollution*. 1992. Vol. 62 (3-4). PP. 249-259.
126. Savolainen O., Hedrick P. Heterozygosity and fitness: no association in Scots pine // *Genetics*. 1995. Vol. 140. PP. 755-766.
127. Sherameti I., Varma A. Heavy metal contamination of soils. Monitoring and remediation. Springer. 2015. 497 pp.
128. Sultanova R.R., Gabdrahimov K.M., Khayretdinov A.F., Konashova S.I., Konovalov V.F., Blonskaya L.N., Sabirzyanov I.G., Martynova M.V., Isyanyulova R.R., Gabdelkhakov A.K. Evaluation of Ecological Potential of

Forests // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. PP. 6590-6596.

129. Swofford D.L., Selander R.B. BIOSYS-1: a FORTRAN program for the comprehensive analysis of electrophoresis data in population genetics and systematics // J. Heredity. - 1981. - V. 72. – 281-283 p.

130. Wójkiewicz B., Cavers S., Wachowiak W. Current approaches and perspectives in population genetics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Forest Science. 2016. Vol. 62 (3). PP. 343-354.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
**Полнота (густота) древостоя**

№	Кол-во деревьев	Площадь, м2	Расстояние, м	Относительная полнота, %
	Сосна обыкновенная			Сосна обыкновенная
В районе предприятия «Кровля»				
1	108	4737,71	410,45	0,0228
2	11	410,45	5234,17	0,034
3	178	5234,17	382,48	0,0716
4	270	382,48	4399,31	0,0433
5	315	4399,31	261,53	0,0238
6	107	261,53	4962,03	0,0119
7	215	4962,03	280,53	0,0346
8	87	280,53	6144,99	0,0253
г. Межозерье, шахта Учалинского горно-обогатительного комбината				
1	24	18704,82	806,1	0,001283
2	15	17042,78	539,14	0,005398
3	92	18681,23	546,47	0,011027
4	68	546,47	24336,45	0,000863
5	206	24336,45	608,54	0,008245
6	68	608,54	20861,38	0,010484
7	21	20861,38	947,39	0,003919
8	19	947,39	19554,22	0,001458
9	172	19554,22	579,87	0,000843
10	105	579,87	23984,24	0,00144

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Ход роста в высоту сосны обыкновенной в разных лесорастительных условиях по годам

№ п/п	201 8	201 7	201 6	201 5	201 4	201 3	201 2	201 1	201 0	200 9	200 8	200 7	200 6	200 5	200 4	200 3	200 2	200 1	200 0
д-1	14,1	14,2	12,5	12,6	14,7	12,5	11,2	8,3	11,4	12,5	10,4	14,7	20,4	10,2	9,4	7,8	7,4	14,2	9,1
д-2	16,5	14,2	14,7	14,3	15,1	16,2	12,4	12,3	18,1	22,5	19,4	16,2	10,3	9,6	13,4	9,8	8,9	7,5	8,1
д-3	11,4	7,5	7,4	7,2	10,3	14	17,4	10,3	15,2	15,1	15,5	18,1	22,4	18,7	14,6	8,1	7,4	6,2	4,1
д-4	17,3	11,5	10,2	6,3	12,8	10,5	9,4	10,4	11,6	14,9	18,6	4,2	4,3	5,1	6,2	6,3	6,1	8,5	9,4
д-5	19,7	12,3	11,1	10,5	10,4	9,6	9,4	10,1	6,3	4,5	6,1	23,6	18,5	19,2	10,6	11,4	10,5	7,8	8,1
д-6	33,2	23,6	16,5	13,4	15,4	17,2	12,1	11,1	13,6	21,8	19,7	9,3	10,6	9,7	9,8	10,5	10,4	14,6	12,6
д-7	10,3	8,5	11,5	11,3	12,1	10,5	8,6	7,8	8,9	7,7	10,2	9,2	6,3	9,1	6,9	10,3	15,2	30,8	6,1
д-8	7,8	4,6	4,2	3,2	6,9	7,6	6,4	6,1	7,2	7,3	6,9	12,9	19,4	17,1	14,2	11,5	16,9	10,3	
д-9	40,5	26,4	30,1	30,2	36,9	38,7	37,4	34,1	28,4	31,3	28,4	27,9	20,3	15,6	16,1	5,4	17,8	13,5	
д-10	25,3	18,4	24,1	20,7	22,8	22,2	21,3	23,4	20,5	18,7	14,6	10,9	11,5	14,3	9,7	11,2	10,3	8,7	
д-11	7,5	11,2	5,8	8,5	9,6	12,3	11,4	10,1	10,2	5,3	6,8	10,9	6,5	11,4	7,3	19,6	4,3		
д-12	17,2	12,5	7,8	8,6	12,5	30,2	18,6	23,4	12,8	12,4	12,1	15,6	15,5	15,5	14,2	14,2	16,5		
д-13	18,6	13,5	10,2	12,6	13,7	8,9	12,6	5,1	5,6	5,2	7,5	6,9	9,4	11,2	11,3	15,2	10,5		
д-14	18,7	14,2	10,5	14,2	17,1	21,5	12,4	14,1	12,2	10,3	10,4	7,3	13,5	24,2	14,8	17,6	6,2		
д-15	7,4	7,5	5,1	6,2	6,3	7,4	4,2	4,1	4,5	5,4	5,2	7,3	7,5	11,4	17,8	27,2	15,4		







### ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

#### Частоты аллелей и генетическая изменчивость подроста сосны обыкновенной на промышленных отвалах

Локусы	Аллели	Выборки подроста в насаждениях				Выборки подроста на промышленных отвалах Учалинского комбината							Дере- вья	Сибай
		1 SSU1	10 SSU2	6 SSU3	7 SSU4	13 SDU1	2 SDU2	3 SDU3	4 SDU4	12 SDU5	5 SDU6	11 SDU7		
Aat-1	1	-	-	-	-	-	0,031	-	-	-	-	-	-	0,031
	2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,969	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,969
Aat-2	1	-	-	0,050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,016	-	0,100	0,147				0,141	-	0,063	-	0,094	-
	3	0,281	0,313	0,133	0,162	0,250	0,281	0,234	0,125	0,375	0,172	0,313	0,219	0,375
	4	0,703	0,688	0,717	0,691	0,688	0,703	0,719	0,734	0,625	0,766	0,688	0,672	0,625
Aat-3	1	0,359	0,333	0,300	0,279	0,290	0,203	0,328	0,281	0,310	0,250	0,286	0,297	0,200
	2	-	0,042	0,017	0,029	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0,641	0,604	0,683	0,691	0,661	0,781	0,672	0,688	0,690	0,734	0,714	0,703	0,800
	4	-	0,021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	0,048	0,016	-	0,031	-	0,016	-	-	-
Gdh-1	1	0,297	0,063	0,350	0,353	0,359	0,328	0,250	0,266	0,406	0,203	0,125	0,297	0,094

	2	0,703	0,938	0,650	0,647	0,625	0,656	0,625	0,734	0,594	0,797	0,875	0,703	0,906
	3	-	-	-	-	0,016	0,016	0,125	-	-	-	-	-	-
Fdh-1	1	-	-	-	0,044	-	0,031	-	-	-	0,031	-	-	-
	2	0,063	0,031	0,133	0,088	0,063	0,125	0,156	0,094	0,156	0,109	0,125	0,078	0,063
	3	0,938	0,969	0,850	0,853	0,938	0,828	0,844	0,906	0,844	0,813	0,844	0,906	0,938
	4	-	-	0,017	0,015	-	0,016	-	-	-	0,016	0,031	0,016	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,031	-	-	-
Lap-1	1	-	-	-	-	-	0,016	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,953	1,000	1,000	0,985	1,000	0,938	1,000	1,000	1,000	1,000	0,969	1,000	1,000
	3	0,016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	0,031	-	-	0,015	-	0,047	-	-	-	-	0,031	-	-
Lap-2	1	0,016	-	-	0,015	0,016	0,016	0,016	-	-	-	-	-	0,047
	2	0,141	-	0,050	0,044	0,016	0,016	-	0,109	-	0,234	-	-	-
	3	0,844	0,984	0,933	0,926	0,922	0,938	0,953	0,891	0,891	0,750	0,969	1,000	0,953
	4	-	0,016	0,017	0,015	0,047	0,031	0,031	-	0,109	0,016	0,031	-	-
Skdh-1	1	0,016	0,031	0,050	0,044	0,031	0,016	0,031	0,031	0,078	0,063	0,078	0,063	0,031
	2	0,969	0,906	0,917	0,956	0,922	0,969	0,969	0,969	0,844	0,922	0,875	0,938	0,875
	3	0,016	0,047	0,033	-	0,031	0,016	-	-	0,078	0,016	0,047	-	0,063

	4	-	0,016	-	-	0,016	-	-	-	-	-	-	-	0,031
6-Pgdh-1	1	-	-	0,033	-	0,172	0,016	0,031	-	-	-	0,125	-	-
	2	0,781	0,906	0,817	0,809	0,734	0,859	0,797	0,797	0,719	0,813	0,750	0,438	0,625
	3	-	0,031	-	0,029	-	-	-	-	-	-	-	-	0,016
	4	0,188	0,063	0,133	0,132	0,094	0,109	0,172	0,188	0,281	0,156	0,125	0,375	0,375
	5	-	-	-	0,015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	0,031	-	0,017	0,015	-	0,016	-	0,016	-	0,031	-	0,172	-
Dia-1	1	0,844	0,625	0,750	0,625	0,844	0,875	0,719	0,750	0,719	0,688	0,688	0,625	0,813
	2	0,156	0,375	0,250	0,375	0,156	0,125	0,281	0,250	0,281	0,313	0,313	0,375	0,188
A	X	2,4	2,3	2,6	2,8	2,7	3,1	2,3	2,1	1,9	2,6	2,2	2,2	2,1
	m	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2
A <sub>0,05</sub>	X	1,7	1,6	2,0	1,7	1,7	1,6	1,6	1,8	1,9	1,8	1,8	1,9	1,7
H <sub>o</sub>	X	0,228	0,207	0,260	0,243	0,235	0,262	0,247	0,225	0,277	0,234	0,226	0,203	0,231
	m	0,051	0,070	0,070	0,061	0,057	0,056	0,068	0,054	0,055	0,050	0,051	0,056	0,059
H <sub>e</sub>	X	0,250	0,201	0,263	0,273	0,256	0,240	0,260	0,244	0,298	0,275	0,258	0,277	0,230
	m	0,254	0,065	0,058	0,062	0,063	0,047	0,065	0,057	0,058	0,052	0,054	0,077	0,054

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4****Статистическая оценка изменчивости подроста сосны обыкновенной в разных лесорастительных условиях (по подросту)**

<b>№</b>	<b>Ср.</b>	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>С,%</b>	<b>ошибка</b>
На мелкозем					
1	11,97895	7,400000	20,40000	3,116191	26,01389
2	13,65789	7,500000	22,50000	4,036819	29,55667
3	12,15263	4,100000	22,40000	5,081816	41,81659
4	9,66316	4,200000	18,60000	4,165628	43,10835
5	11,56316	4,500000	23,60000	5,094246	44,05584
6	15,00526	9,300000	33,20000	6,070097	40,45312
7	10,59474	6,100000	30,80000	5,360812	50,59882
8	9,47222	3,200000	19,40000	4,801447	50,68976
9	26,61167	5,400000	40,50000	9,832155	36,94678
10	17,14444	8,700000	25,30000	5,693466	33,20881
Ровное место под пологом леса					
1	9,33529	4,300000	19,60000	3,595299	38,51297
2	15,27059	7,800000	30,20000	5,290648	34,64600
3	10,47059	5,100000	18,60000	3,741284	35,73136
4	14,07059	6,200000	24,20000	4,718814	33,53672
5	8,81765	4,100000	27,20000	6,084739	69,00638
6	15,73125	6,100000	28,40000	7,640831	48,57103
7	13,30667	7,800000	20,60000	3,443517	25,87813
8	12,24000	7,500000	22,80000	4,006744	32,73484
9	13,76923	8,200000	19,10000	3,233003	23,47991
10	10,64615	6,200000	17,80000	2,852956	26,79800
У завода УКРЗ на валунах					
1	16,67857	10,20000	30,80000	5,047647	30,26426
2	8,23571	4,20000	14,50000	3,580418	43,47429
3	10,44286	6,50000	17,40000	3,332293	31,90978

4	6,69167	5,20000	9,20000	1,225827	18,31871
5	10,50000	6,30000	15,40000	3,230255	30,76433
6	5,35000	2,10000	10,20000	2,763891	51,66151
7	5,55000	4,10000	7,60000	0,958297	17,26661
8	7,16000	3,50000	10,30000	2,059773	28,76779
9	8,62222	6,20000	12,40000	2,182761	25,31552
10	9,85556	6,50000	13,50000	2,645804	26,84581
С хорошим светом					
1	45,92500	30,50000	58,50000	12,26278	26,70176
2	41,17500	28,40000	52,60000	12,02896	29,21423
3	57,40000	50,30000	62,40000	5,28331	9,20437
4	49,42500	38,40000	63,50000	11,98454	24,24793
5	46,10000	33,30000	55,60000	10,17415	22,06974
6	36,97500	22,40000	50,40000	12,14259	32,84000
7	50,02500	39,50000	59,30000	9,50066	18,99182
8	47,50000	37,10000	54,90000	7,61358	16,02860
9	47,60000	37,70000	55,90000	9,51945	19,99885
10	47,97500	29,40000	62,70000	14,29974	29,80664
У шахты - контроль					
1	34,96250	18,50000	56,40000	11,97819	34,26010
2	35,50000	20,10000	60,50000	14,95097	42,11540
3	29,07500	15,40000	46,80000	11,78422	40,53042
4	33,15714	11,20000	60,50000	16,12367	48,62806
5	39,38571	22,20000	62,30000	15,16635	38,50723
6	40,70000	25,10000	63,20000	13,27516	32,61711
7	38,31667	16,40000	59,30000	16,00568	41,77210
8	49,70000	30,20000	72,40000	17,16741	34,54207
9	40,03333	21,50000	55,80000	12,60106	31,47642
10	46,31667	30,70000	64,70000	14,67084	31,67509

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5**  
**Основные физико-механические свойства некоторых пород**  
**древесины (среднее значение при влажности 12%)**

Порода дерева	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности (МПа) вдоль волокон при:			
		растяжении	сжатию	скалывании радиальном	статическом изгибе
Хвойные породы, Пересчетный коэффициент объемного разбухания K <sub>o</sub> =1,046					
Сосна обыкновенная	500	103,5	48,5	7,5	86