

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт географии им. В.Б. Сочавы  
Сибирского отделения Российской академии наук

На правах рукописи

**ВЛАДИМИРОВ Игорь Николаевич**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ГЕОСИСТЕМ  
БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология  
(науки о Земле)

Диссертации на соискание ученой степени  
доктора географических наук

Иркутск – 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	5
<b>Глава 1. Теоретические вопросы изучения экологического потенциала геосистем</b>	24
1.1. Байкальская Сибирь - актуальный регион исследования экологического потенциала геосистем для оптимизации природопользования	26
1.2. Определение, природная сущность и социальная значимость экологического потенциала геосистем	31
<b>Глава 2. Природная основа экологического потенциала геосистем</b>	52
2.1. Природные условия развития геосистем Байкальской Сибири	53
2.2. Эволюция природного процесса в Байкальской Сибири в голоцене	79
2.3. Геосистемы Байкальской Сибири	90
<b>Глава 3. Оценка экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири</b>	103
3.1. Геоинформационный анализ и моделирование структуры и динамики растительности геосистем	105
3.2. Естественная динамика геосистем - механизм формирования экологического потенциала	132
3.3. Устойчивость геосистем как фактор формирования экологического потенциала геосистем	140
3.4. Социально-хозяйственная значимость объективных функций геосистем в природопользовании	147
3.5. GRID-моделирование экологического потенциала геосистем	170

<b>Глава 4. Прогнозное картографирование динамики и экологического потенциала геосистем</b>	<b>187</b>
4.1. Антропогенная нарушенность геосистем Байкальской Сибири	190
4.2. Восстановительно-возрастная динамика лесного покрова в разных ландшафтных ситуациях (ландшафтная идентификация)	195
4.3. Прогнозирование антропогенной динамики лесной растительности геосистем Байкальской Сибири	218
<b>Глава 5. Оптимизация природопользования в Байкальской Сибири</b>	<b>247</b>
5.1. Государственная экологическая политика в природопользовании: прошлое, настоящее, будущее.	249
5.2. Экологические проблемы Байкальского региона	260
5.3. Экологические риски и экологическая безопасность природопользования в Байкальской Сибири.	276
5.4. Оптимизация природопользования в Прибайкалье на основе учета экологического потенциала геосистем	308
<b>Заключение</b>	<b>330</b>
<b>Список литературы</b>	<b>346</b>
<b>Приложение 1</b>	<b>380</b>
<b>Приложение 2</b>	<b>397</b>
<b>Приложение 3</b>	<b>403</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность диссертации.** Байкальская Сибирь - географический регион, территориально совпадающий с границами Предбайкалья и Забайкалья [Попов, 1955; Герасимов, 1965; Малышев, Пешкова, 1984; Пешкова, 1972, 1985]. Название «Байкальская Сибирь» впервые было использовано К.Ф. Ледебуrom [Ledebour, 1842] и Н.С. Турчаниновым [Turczaninow, 1842-1856].

Байкальская Сибирь расположена на юге Восточной Сибири, в центральной части субконтинента Северной Азии и в административном плане включает территории трех субъектов Российской Федерации: Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края (рисунок В.1).

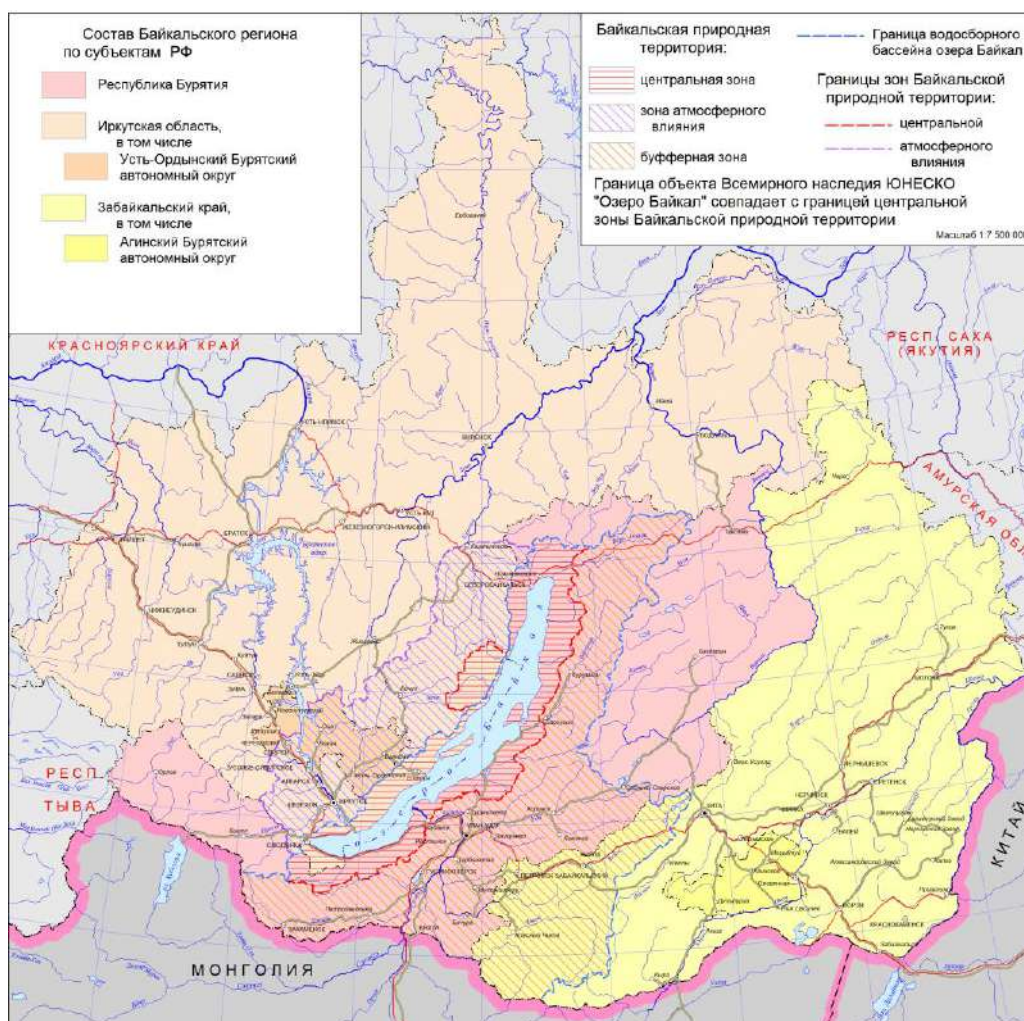


Рисунок В.1. Географическое положение Байкальской Сибири с административным делением.

Байкальская Сибирь представляет собой уникальный в природно-ландшафтном отношении регион в центральной части субконтинента Северной Азии. Здесь проходят границы трех физико-географических областей – Среднесибирской, Южносибирской и Байкало-Джугджурской, имеющих свои особенности развития ландшафтно-географических процессов, и определяющие современный природный экологический потенциал геосистем.

Байкальский регион обладает громадными запасами различных природных ресурсов, промышленное освоение которых непрерывно возрастает, формируя сложные экологические проблемы. Низкий потенциал устойчивости геосистем этого региона к антропогенным нарушениям, замедленные процессы самовосстановления, определяющиеся суровостью природных условий, создают большое количество экологических ограничений в области природопользования, связанные с качеством окружающей среды и экологической безопасностью населения, с сохранением биологического разнообразия территорий, а также с формированием основ их устойчивого эколого-экономического развития [Экологический..., 2015, Владимиров, 2018].

Необходимость экологической рационализации природопользования в Байкальской Сибири определяется еще и тем, что основная часть этого региона относится к Байкальской природной территории, на которой экологическая регламентация природопользования определяется Федеральным законом «Об охране озера Байкал» [Федеральный закон от 01.05.1999 № 94-ФЗ].

Все эти факторы стимулируют поиск новых научных и прикладных подходов в экологической оптимизации (экологизации) природопользования с учетом особенностей ее природно-ландшафтных комплексов и их компонентов.

Основной целью экологизации природопользования в настоящее время является создание условий для гармоничного, сбалансированного развития природы, общества и экономики. Особый акцент должен быть сделан на признании приоритетности для общества жизнеобеспечивающих функций

геосистем перед прямым использованием ее ресурсов при соблюдении баланса потребностей населения в благосостоянии и экологическом благополучии. В этих условиях экологическая оптимизация природопользования на основе учета экологического потенциала геосистем является основной парадигмой политики природоохранной деятельности в Байкальской Сибири, что позволит обеспечить учет баланса экологических и экономических интересов общества, создать научные предпосылки для разработки правовых природоохранных норм, экономических расчетов, научного и информационно-аналитического обеспечения охраны окружающей среды и экологической безопасности.

**Степень разработанности темы исследования.** В географической науке существует несколько терминов, связанных с понятием «потенциал» - природно-ресурсный потенциал, природный потенциал, ресурсный потенциал, экологический потенциал, потенциал территории, природно-экономический потенциал и т.д.

Понятие «природный потенциал ландшафта» было впервые сформулировано Н.А. Солнцевым: «...те внутренние возможности, которые уготованы в ландшафте самой природой...» [1948, с. 267]. В последующие годы природному потенциалу было посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых. Понятие «природно-ресурсный потенциал территории» относится к ключевым концепциям географии природных ресурсов, геоэкологии и природопользования. Появление понятия природно-ресурсного потенциала территории было связано с проблемой различной обеспеченности экономических районов природными ресурсами и необходимостью поиска интегрального показателя, позволяющего сравнивать их между собой. Основная сущность и содержание концепции природно-ресурсного потенциала разработаны в трудах Ю.Д. Дмитревского [1962], А.А. Минца [1972, 1973], Б.М. Ишмуратова [1979], Ю.П. Михайлова [1980], Г.А. Приваловской, Т.Г. Руновой [1980], В.П. Руденко [1980], А.И. Чистобаева [1980], П.Я. Бакланова [2000], И.Н. Волковой, Г.А. Приваловской, [2004], И.Ю. Новоселовой [2009] и др.

Природно-ресурсный потенциал в определенном смысле можно

рассматривать как сочетание природного и экологического потенциала. Между этими понятиями существует некоторое пересечение, поскольку определенные виды природных ресурсов выполняют как экологические, так и производственные функции. Однако, в структуру экологического потенциала входят не только определенные природные ресурсы, но и природные условия, в ряде случаев - все они рассматриваются как экологические факторы.

Экологический потенциал ландшафта рассматривается в качестве фундаментального понятия экологической географии и географической теории взаимодействия человека и природы. Первые детальные исследования и научное обоснование экологического потенциала ландшафтов принадлежат А.Г. Исаченко [1988,1991,1992]. В настоящее время существует несколько определений экологического потенциала, но все они, в основном, сводятся к пониманию его как совокупности природных условий, необходимых для жизни и воспроизводства населяющих данную территорию организмов [Голубець, 2000; Гавриленко, 2008; и др.]. Такие определения исходят из антропоцентрического подхода, базирующегося на требованиях человека к качеству среды обитания и ориентирующегося на потенциальную полезность природных объектов для человека и удовлетворения его потребностей.

Суть природоцентрического подхода состоит в необходимости сохранения живой природы в целом. Подход к оценке экологического потенциала зависит от цели исследований. Если оценка проводится для определения влияния окружающей природной среды на благополучие человека или его хозяйственную деятельность, то используются критерии, которые описывают возможные последствия этого влияния (антропоцентрический подход). Когда оценка направлена на определение качества самой природной среды, то основными критериями выступают показатели состояния компонентов геосистем и их функциональных связей (природоцентрический подход).

**Цель исследований.** Разработка научно-методологических основ оценки экологического потенциала геосистем, развитие геоинформационных методов оценки и моделирования динамики, экологического потенциала

геосистем, в том числе при их нарушенности, разработка методов прогнозно-динамического картографирования геосистем, а также предложений по оптимизации природопользования на основе учета экологического потенциала геосистем, на примере Байкальского региона.

В соответствии с поставленной целью в работе были решены следующие задачи:

1. Уточнить понятие экологического потенциала геосистем.
2. Определить природную сущность и социальную значимость экологического потенциала геосистем как основы рационального природопользования.
3. Проанализировать историю эволюционных процессов природной среды Байкальской Сибири в голоцене; установить особенности структурно-функциональных внутренних и внешних связей геосистем, сформировавшиеся в ходе эволюции и определяющие их дальнейшее естественное развитие и формирование природного экологического потенциала.
4. Разработать и реализовать методику прогнозно-динамического картографирования лесной растительности на различных уровнях организации геосистем, показать возможности вариантных расчетов для оценки воздействия планируемых хозяйственных мероприятий на природную среду.
5. На основе методов ландшафтно-интерпретационного картографирования создать прогнозно-динамические карты типов леса на территорию ключевого участка в Северном Приангарье на период 50 и 100 лет.
6. Рассмотреть применение различных алгоритмов классификаций геоизображений при геоинформационном моделировании современного состояния лесной растительности геосистем; доказать невозможность заблаговременного выбора алгоритма с позиций соотношения точности классификации и полноты данных.
7. Провести геоинформационное моделирование восстановительных сукцессий лесов на бывших сельскохозяйственных землях в Забайкалье.



Выполнить картографический анализ динамики категорий земель за последние сто лет на основе анализа карт, составленных Корпусом военных топографов, и данных дистанционного зондирования (Landsat MSS, Landsat 5 TM).

8. Составить карту геосистем Байкальской Сибири в обзорно-справочном масштабе, опирающуюся на принципы многоступенчатой регионально-типологической и структурно-динамической классификации геосистем, предложенных академиком В.Б. Сочавой.

9. Провести анализ природных и антропогенных источников негативного воздействия на геосистемы Байкальской Сибири, факторов, ограничивающих хозяйственную деятельность в Прибайкалье, что позволило оценить в пространственном аспекте остроту экологической ситуации в Прибайкалье.

10. Для организации исследований экологического потенциала, факторов и условий, оказывающих влияние на его формирование, и расчета интегрального показателя выполнено GRID-моделирование экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири.

11. На основе анализа государственной политики в области экологического развития Российской Федерации и правового регулирования в области природопользования в Байкальском регионе продемонстрировать формирование определенной экологической политики в отношении охраны озера Байкал и Байкальской природной территории (БПТ).

12. С применением опыта территориального планирования центральной экологической зоны БПТ, на основе методического аппарата ландшафтного планирования разработать предложения по оптимизации природопользования в Прибайкалье, сочетающих в себе принципы устойчивого развития.

Общий алгоритм исследования представлен на рисунке В.2:

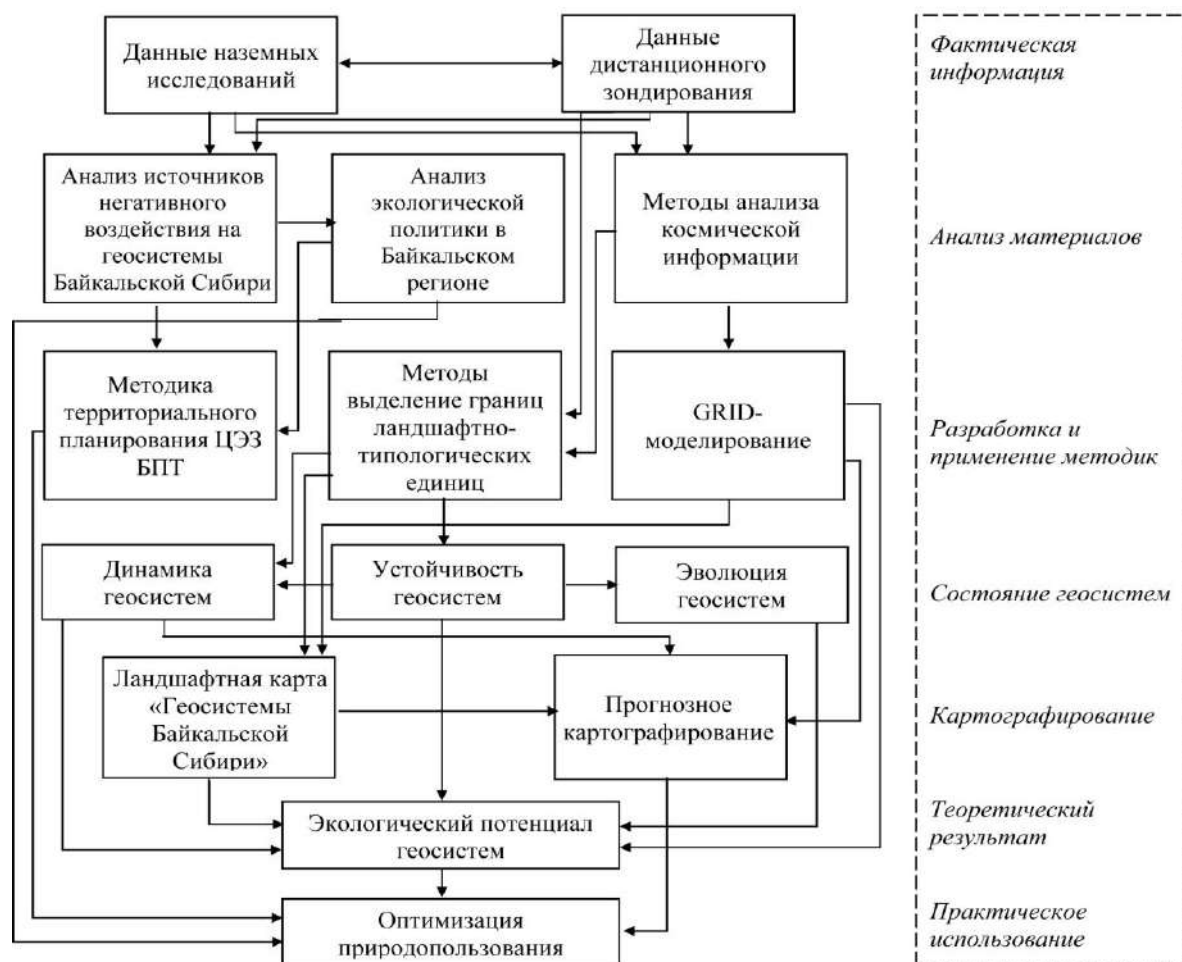


Рисунок В.2. Блок-схема диссертационной работы с указанием последовательности решения поставленных задач

**Объект исследования** – территория Байкальской Сибири.

**Предметом исследования** является экологический потенциал геосистем как основа рационального природопользования.

**Материалы исследования.** Работа выполнена с использованием материалов, собранных автором во время полевых экспедиционных исследований, проведенных в регионе с 1999 по 2019 годы, с привлечением фондовых лесотаксационных, почвенных, геологических материалов; данных дистанционного зондирования различного пространственного разрешения. Использовалась информация аэровизуальных наблюдений, в том числе полученная в ходе совместных полетов с сотрудниками государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

## **Научная новизна.**

1. Предложена новая трактовка понятия «экологический потенциал» с геосистемных позиций на основе конструктивного объединения природоцентрического и антропоцентрического подходов, с основным акцентом на первый, предполагающего выявление сути природных процессов и объектных отношений между компонентами геосистем и раскрывающего предельные возможности геосистем в течении длительного времени поддерживать нормальное воспроизводство и развитие биоты и человека.

2. На основе синтеза данных дистанционного зондирования высокого и среднего пространственного разрешения, цифровой модели рельефа, цифровых данных о состоянии растительности и климата создана ландшафтная карта Байкальской Сибири, отображающая структурно-динамическое разнообразие геосистем региона в системах географо-генетических пространственных структур с выявлением основных факторов, определяющих природный экологический потенциал геосистем.

3. С помощью разработанных методов, учитывающих эволюционно-генетический и динамический статус, функции, состояние структурных компонентов геосистем, степень их нарушенности и показатели устойчивости к антропогенным воздействиям, созданы специальные (оценочные, индикационные, ресурсные, прогнозные) карты, отражающие состояние экологического потенциала геосистем.

4. Для определения устойчивости геосистем Байкальского региона ранга геомов рассчитаны количественные показатели характеристик геосистем и установлены диапазоны значений (оптимальный, субоптимальный, пессимальный), в пределах которых геосистема способна сохранять характерные для нее структурные и функциональные особенности.

5. Предложена и апробирована методика геоинформационного моделирования лесной растительности геосистем, предполагающая совместное использование индексов NDVI и NDWI, цифровой модели рельефа и методов алгебры логики (дерево решений).

6. Проведена картографическая оценка антропогенной нарушенности растительности геосистем Байкальской Сибири на основе данных об очагах нарушений, полученных по материалам дистанционного зондирования и по информации о типах растительного покрова ESA GlobCover 2009.

7. Предложен новый подход к изучению и картографированию восстановительных сукцессий залежных земель с использованием разновременных значений NDVI на основе снимков высокого разрешения и материалов экспедиционных исследований.

8. Дана количественная оценка вертикального и горизонтального сдвига верхней границы леса на Байкальском хребте за последние полвека, связанного с возможными последствиями глобального изменения климата.

9. Впервые проведена оценка экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири с использованием GRID-моделирования и метода анализа иерархий.

10. На основе анализа природных и антропогенных источников негативного воздействия на геосистемы Байкальской Сибири выполнена оценка пространственного изменения условий природной среды, вызывающих ухудшение нормальных условий жизнедеятельности и здоровья людей, истощение или утрату природных ресурсов, снижение или утрату средо- и ресурсоформирующих свойств геосистем, и, соответственно, их экологического потенциала.

11. На основе опыта территориального планирования и научного обоснования экологической допустимости размещения объектов хозяйственной деятельности в ЦЭЗ БПТ с использованием методического аппарата ландшафтного планирования разработаны конкретные мероприятия по оптимизации природопользования в Байкальской Сибири, базирующиеся на учете экологического потенциала геосистем региона.

**Практическое значение и внедрение.** На значительной части Байкальской Сибири расположена Байкальская природная территория, где хозяйственная деятельность регламентируется Федеральным законом «Об охране озера Байкал» [1999]. Результаты исследования экологического потенциала геосистем являются необходимой основой для рационального

природопользования в регионе, с соблюдением всех экологических норм и правил, направленных на сохранение уникальной экологической экосистемы оз. Байкал, качества окружающей природной среды и биологического разнообразия Байкальской Сибири. Актуальным данный аспект становится в связи с активизацией хозяйственной деятельности, особенно в зоне Байкало-Амурской магистрали, размещением сельскохозяйственных объектов, а также при формировании новых зон рекреации.

Авторские материалы, карты, предложения, разработанные в диссертации, по оптимизации природопользования в Байкальской Сибири на основе учета экологического потенциала, устойчивости геосистем использованы при работе государственным контрактам «Компьютерная системы прогнозирования и управления динамикой лесных ресурсов» (2001-2002 гг.), «Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе (дельта реки Селенга)» (2002 г.), «Концепция генерального плана г. Иркутска» (2003 г.); при создании научно-технической продукции для федеральных нужд «Анализ современного использования территории и ограничений для разработки проекта схемы территориального планирования Центральной экологической зоны Байкальской природной территории» (2008-2010 гг.), научно-исследовательской работе по реализации федеральной целевой программы «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012-2020 годы» по теме «Научное обоснование экологической допустимости размещения объектов хозяйственной и иных видов деятельности в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» (2015-2016 гг.).

Автор диссертации был научным руководителем и ответственным исполнителем более чем 30 научно-производственных отчетов по вопросам экологического сопровождения различных объектов хозяйственной деятельности на территории Иркутской области, Республики Бурятия, Республики Саха (Якутия) (месторождения полезных ископаемых, трубопроводы, объекты научной инфраструктуры, рекреационной деятельности и т.п.).

**Методология и методы исследований.** Методология базируется на общей теории систем, на основных ландшафтных и геосистемных концепциях. Используются принципы устойчивого природопользования, эколого-хозяйственной оптимизации и др. В качестве теоретико-методологической основы работы были использованы идеи и положения учения о геосистемах В.Б. Сочавы, теоретического и практического опыта разработок в области системных исследований географической среды (А.Д. Арманда, А.В. Белова, И.П. Герасимова А.Г. Исаченко, А.А. Крауклиса, Ю.Г. Пузаченко, Ю.М. Семенова, Н.А. Солнцева, А.А. Тишкова, А.К. Тулохонова, А.К. Черкашина и др.).

Специальная ландшафтная и геоботаническая информация, настоящей работы, кроме собственных авторских исследований, подкреплена данными по растительному покрову региона из работ Л.И. Малышева [1965, 1972], Г.А. Пешковой [1972, 1985, 2001], Л.В. Попова [1982], А.П. Софронова [2015]. Источником информации по эволюции природного процесса в голоцене послужили публикации Е.В. Безруковой, В.А. Беловой, Е.П. Тарасова и др. [Белова, 1975, 1985; Безрукова, Белов, 2010; 2013; Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2008, 2010; Tarasov et al., 2007, 2009].

В работе использовались классические методы комплексных географических исследований, математического моделирования, статистического анализа данных, сравнительно-географический и историко-картографический метод, а также полевые маршрутные и аэровизуальные наблюдения в сочетании с обобщением значительного массива литературных материалов. Широко применялись современные методы геоинформационного картографирования и моделирования, обработки и анализа данных дистанционного зондирования.

### **Защищаемые положения**

1. Представление об экологическом потенциале геосистем, которое опирается на конструктивное объединение двух подходов к его оценке – природоцентрического и антропоцентрического, с основным акцентом на первый, – позволяет выявить важнейшие интегральные свойства геосистем,

обеспечивающие рациональное экологически ориентированное природопользование и предупреждение экологических рисков.

2. Универсальное ландшафтное картографирование, базирующееся на принципах структурно-динамической и типологической классификации геосистем, является эффективным методом изучения и моделирования пространственно-временной организации геосистем, выявления и оценки экологического потенциала.

3. Выявление, оценка и прогнозирование экологического потенциала геосистем образуют единый многоступенчатый процесс географического прогнозирования, объединенный концепцией учения о геосистемах и общей целью формирования научного обоснования экологически ориентированного природопользования в регионе с учетом его природно-географических особенностей.

4. Прогнозно-динамическое моделирование геосистем и их компонентов позволяет комплексно учитывать структурные и функциональные динамические проявления в геосистемах при разработке основных мероприятий по оптимизации природопользования и сохранению качества природной среды.

5. Многоэтапные картографические исследования включаются в единую систему географического прогнозирования и создают новую фундаментальную научную базу для разработки рекомендаций по оптимизации природопользования в Прибайкалье в рамках реализации государственной экологической политики.

Доказательная база этих утверждений распределена по разным главам диссертации.

Обоснование первого положения проводится в первой и третьей главах. Экологический потенциал – это совокупность естественных свойств природных систем, особенностей их структурно-функциональных внутренних и внешних связей, сформировавшихся в ходе эволюционного развития природной среды и определяющих их дальнейшее развитие, а также обеспечивающие жизненные потребности человека при сохранении максимально возможных структурно-функциональных параметров

геосистемы. Экологический потенциал геосистем зависит как от ее природных свойств, так и от направления и форм существующего хозяйственного использования. Он рассматривается с социально-экономической, хозяйственной, функциональной точек зрения. По отношению к каждой функции геосистема характеризуется определенным природным потенциалом - способностью выполнять эту функцию, сохраняя при этом свою структуру и природные особенности. В отличие от функции геосистемы, которая задается ей извне, можно сказать «навязывается» обществом, экологический потенциал - ее внутреннее, естественное свойство, которое геосистема имеет по отношению к любой функции независимо от того выполняет она ее в данный момент или нет.

Второе положение защиты доказывается во второй и третьей главах. Основным методом исследования и оценки экологического потенциала является картографическое моделирование с созданием универсальных и специальных карт на основе современных геоинформационных технологий. Картографирование эффективно на всех этапах географического прогнозирования. С программно-целевых позиций географическое прогнозирование рассматривается как единый сложный многоэтапный картографический процесс, имеющий свою логику и структуру. Центральное место на инвентаризационном этапе в прогнозно-географических исследованиях занимает изучение пространственной и динамической структуры геосистем региона. Наиболее эффективно на данном этапе универсальное ландшафтное картографирование, опирающееся на принципы структурно-динамической и типологической классификации геосистем, разработанных академиком В.Б. Сочавой. Основа этого подхода заключается в оценке дифференциации географической среды в пределах ее целостных подразделений, обладающих устойчивостью на определенный отрезок времени и в то же время подверженных непрерывным естественным и антропогенным изменениям.

Третье положение защиты базируется на фактах, изложенных в первой, второй, третьей и пятой главе диссертации. Специальные (оценочные, индикационные, ресурсные и т.п.) карты, составленные с помощью



геоинформационных методов и разработанных методик моделирования, учитывающих эволюционно-генетический и динамический статус геосистем и их компонентов, состояние отдельных структурных компонентов геосистем, степень их нарушенности. характеристики устойчивости к антропогенным воздействиям, отражают, прежде всего, современное состояние эволюционного потенциала геосистем.

С использованием специальных оценочных карт природных условий и экологического потенциала геосистем появляется возможность дать общее представление об условиях существования в них людей, создать естественнонаучную основу для разумной региональной экологической политики.

Выявление особенностей развития ландшафтно-географических процессов, определяющих современный природный экологический потенциал геосистем, важно для прогнозных построений, такие показатели оценки находят свое отражение на специальных оценочных и индикационных картах.

Доказательство четвертого положения приведено в четвертой и пятой главе диссертации. Особенностью прогностического этапа является его собственная оценочная составляющая, так как после создания прогнозного представления о геосистемах или растительности будущего необходимо еще и провести оценку прогноза с экологической и ресурсной позиций. Все это необходимо для разработки рекомендаций по хозяйственной деятельности, нацеленных на снижение или недопущение экологических, или ресурсных нежелательных последствий.

Геоинформационное моделирование представляет собой основу для системной оценки растительности геосистем: ресурсной, средоформирующей, средозащитной и др.

Системные блоки оценки и прогнозирования динамики таежных геосистем учитывают возможности современных ГИС-технологий, позволяющих на единой основе интегрировать накопленные эколого-географические знания, разработанные ранее математические модели и методы решения задач дешифрирования космических снимков для

прогнозирования динамики геосистем и оптимального управления лесопользованием и перейти к созданию интеллектуальной гибридной геоинформационной системы на основе подсистемы математического моделирования и системы автоматизации логических рассуждений (системы искусственного интеллекта). Функциональные возможности интегрированной ГИС со встроенными подсистемами моделирования и отображения информации формируют гибридную ГИС, реализующую идею прогнозного и интерпретационного картографирования.

Пятое положение защиты доказывается во второй, третьей, четвертой и пятой главе диссертации. Многоэтапные картографические исследования укладываются в единую систему географического прогнозирования и создают новую фундаментальную научную базу для разработки рекомендаций по оптимизации природопользования в Прибайкалье в рамках реализации государственной экологической политики. В основу всех предлагаемых мероприятий заложены оценки современного состояния геосистем Прибайкалья. При этом были учтены все ранее обозначенные экологические риски, возникающие при антропогенных нарушениях геосистем.

Рекомендуемые для учета при природопользовании различные аспекты экологического потенциала геосистем в полной мере соответствуют задачам государственной политики в области экологического развития Российской Федерации, применительно к конкретной сибирской территории. Наиболее важно это для БПТ, природопользование на которой должно осуществляться с учетом жестких норм и правил для сохранения уникальной экосистемы оз. Байкал. Экологический потенциал геосистем всех экологических зон БПТ как объекта всемирного природного наследия ЮНЕСКО особенно значим и его необходимо учитывать при всех видах хозяйственной деятельности.

**Личный вклад автора.** В диссертационной работе приводятся результаты многолетних исследований, выполненных автором лично, при его участии, или под его руководством. Автору принадлежат: выбор направления исследования, определение цели и постановка задач исследования, аналитический обзор литературы, разработка методов изучения и

моделирования пространственно-временной организации геосистем и их экологического потенциала, геоинформационное обеспечение моделирования, анализа и прогнозирования экологического потенциала и динамики геосистем, руководство и участие в исследованиях по апробации теоретических и методологических положений, формулировка выводов. Результаты исследований, проведенных в соавторстве с другими исследователями и касающиеся в основном апробации ряда положений диссертации на конкретных участках, включены в диссертацию только при наличии совместных публикаций.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов исследования обеспечивается применением современных способов обработки и анализа фактического материала, рекомендованных для ландшафтных и геоэкологических исследований, а также системным подходом к изучению объекта.

Исходные материалы получены в результате работ автора по темам НИР лабораторий аэрокосмических методов исследования, физической географии и биогеографии Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН с 1999 по 2019 гг.

Автор руководил грантами Президента РФ № МК-862.2009.5 «Моделирование и прогнозирование динамики геосистем: синтез методов математического моделирования, дистанционного зондирования и геоинформатики», МК-3704.2011.5 «Динамика геосистем Прибайкалья в изменяющихся природных и экономических условиях», РФФИ 01-05-06226\_мас «Системный анализ динамики лесных ресурсов Иркутской области (моделирование естественной и антропогенной динамики)», РФФИ № 05-05-97284\_байкал «Параметрическая идентификация системы математических моделей управления лесными ресурсами Байкальского региона», РФФИ № 14-45-04097\_сибирь «Динамика растительности геосистем Предбайкалья под воздействием меняющихся природных и антропогенных факторов», РФФИ № 17-29-05089 офи\_м «Экологический потенциал геосистем бассейна озера Байкал как основа оптимизации природопользования в регионе», РГО № 11/2015-Р «Байкальская

географическая экспедиция». Был ответственным исполнителем проектов РФФИ № 99-05-64075, 02-05-65054, 08-07-98005\_сибирь, 12-05-00325, 13-07-12080\_офи\_м.

Материалы диссертации проходили апробацию более чем на 80 международных и всероссийских конференциях, симпозиумах, конгрессах, среди которых следует отметить: Вопросы охраны и изучения горных экосистем Байкальского региона (Танхой, Республика Бурятия, 1999); Интеркарто 6: ГИС для устойчивого развития территорий (Апатиты, 2000); Экология ландшафта и планирование землепользования (Иркутск, 2000); VII научное совещание по прикладной географии (Иркутск, 2001); XI научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2001); Дистанционные исследования и картографирование структуры и динамики геосистем (Иркутск, 2002); Сибирская региональная ГИС-конференция (Иркутск, 2002); XI IBFRA “Boreal Forests and Environment: Local, Regional and Global Scales” (Krasnoyarsk, 2002); Природно-ресурсный потенциал Азиатской России и сопредельных стран: пути совершенствования использования (Иркутск, 2002); VII научная конференция по тематической картографии “Картографическое и геоинформационное обеспечение управления региональным развитием” (Иркутск, 2002); Дистанционное зондирование поверхности земли и атмосферы (Иркутск, 2003); Интеркарто 9: ГИС для устойчивого развития территорий (Новороссийск, Севастополь, 2003); Математические и информационные технологии в энергетике, экономике, экологии (Иркутск, 2003); Закон Российской Федерации “Об охране озера Байкал» как фактор устойчивого развития Байкальского региона (Иркутск, 2003); ИнтерКарто/ИнтерГИС 10: устойчивое развитие территорий: геоинформационное обеспечение и практический опыт” (Владивосток, Чаньчунь (КНР), 2004); VIII научное совещание по прикладной географии (Иркутск, 2005); Научные чтения, посвященные 100-летию со дня рождения академика В.Б. Сочавы (Иркутск, 2005); Третья интеграционная междисциплинарная конференция молодых ученых СО РАН и высшей школы (Иркутск, 2005); 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing (Beijing, China, 2005); The 2nd

International Conference on the West Development and Sustainable Development (Urumqi, China, 2005); VIII научная конференция по тематической картографии «Геоинформационное картографирование для сбалансированного территориального развития» (Иркутск, 2006); XIII научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2007); XI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Иркутск, 2010); ИнтерКарто/ИнтерГИС-16. Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: (Ростов-на-Дону, Зальцбург (Австрия), 2010); International Conference on Environmental Observations, Modeling and Information Systems ENVIROMIS-2010 (Томск, 2010); Приоритеты и особенности развития Байкальского региона (Улан-Удэ, 2011); XIV совещание географов Сибири и Дальнего Востока (Владивосток, 2011); International Forum on Regional Sustainable Development of Northeast and Central Asia (Beijing, China, 2011); Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии (Иркутск, 2012); International conference on Applied Internet and Information Technologies IAИТ 2013 (Zrenjanin, Serbia, 2013); 37th International Convention Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2014) (Opatija, Croatia, 2014); XV совещание географов Сибири и Дальнего Востока (Улан-Удэ, 2015); X научная конференция по тематической картографии «Атласное картографирование: традиции и инновации» (Иркутск, 2015); International Geographical Union Regional Conference: Geography, culture and society for our future Earth (Moscow, 2015); The First Sino-America Land Engineering Cooperation Conference (Xian, China, 2016); Запад и Восток: пространственное развитие природных и социальных систем (Улан-Удэ, 2016); The First Sino-America Land Engineering Cooperation Conference (Xian, China, 2016); The Academic Seminar between V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS and Lanzhou University of Finance and Economics (Lanzhou, China, 2016); The 2nd Conference “A Comparative Study on the Urbanization between China and Silk Road” (Xian, China, 2016); The 33rd International Geographical Congress (Beijing, China, 2016); Сессия Объединенного научного

совета по фундаментальным географическим проблемам при МААН и Научного совета по фундаментальным географическим проблемам РАН (Кострома, 2015; Улан-Удэ, 2016; Оренбург, 2017; Минск, 2019); The First International Conference on Environmental Science and Technology - EST2017 (Ulaanbaatar, Mongolia, 2017); The 4th International Conference of Resources, Environment and Regional Sustainable Development in Northeast Asia (Changchun, China, 2018); Международная географическая конференция «Экономический коридор «Китай-Монголия-Россия»: географические и экологические факторы и возможности территориального развития» (Иркутск, 2018); Международная конференция «Информационные технологии в исследовании биоразнообразия» ITRB 2018 (Иркутск); International Conference on Ecological Risk and Sustainable Development of China-Mongolia-Russia Economic Corridor (Beijing, China, 2018), Second International Science Forum of National Scientific Organizations on the Belt and Road Initiative (Beijing, China, 2018); Second International Science Forum of National Scientific Organizations on the Belt and Road Initiative (Beijing, China, 2018), The 2nd Think Tank Forum of the International Scientists Union for the Belt and Road (Beijing, China, 2019). Работа апробировалась на заседаниях Ученого совета, Научных сессиях и семинарах Института географии им. В.Б. Со-чавы СО РАН, Научной сессии Иркутского научного центра СО РАН.

**Публикации.** Непосредственно по теме диссертации опубликовано более 140 научных работ. Из них: 8 коллективных монографий, 13 статей в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК, 14 публикаций, включенных в базы данных WoS и Scopus. В автореферате приведен список из 70 наиболее значимых публикаций.

**Структура работы** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, 3 приложений и списка литературы из 494 наименований. Общий объем работы составляет 409 страниц текста, 92 рисунка, 4 таблицы.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному консультанту д.г.н. А.В. Белову, д.г.н., проф. В.М. Плюснину, д.г.н., проф. А.К. Черкашину, д.г.н., проф. В.Б. Выркину, д.г.н., проф. А.Б. Иметхенову, д.г.н., проф. Ю.М. Семенову, к.г.н. А.В. Бардашу, к.г.н. В.Н. Богданову, к.г.н.

Д.В. Кобылкину, к.г.н. С.И. Лесных, к.г.н. М.Ю. Опекуновой, к.т.н. А.К. Поповой, к.г.н. А.А. Сороковому, к.г.н. А.П. Софронову, к.т.н. Е.А. Черкашину, к.г.н. А.И. Шеховцову за ценные замечания и рекомендации по содержанию отдельных глав и общему характеру работ, а также действенную помощь при ее подготовке за ценные замечания и рекомендации по содержанию отдельных глав и общему характеру работ, а также действенную помощь при ее подготовке.

## **Глава 1. Теоретические вопросы изучения экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири**

Байкальская Сибирь - актуальный регион исследований, с относительно хорошо сохранившейся природной средой, коренными структурами геосистем, но и с достаточным объемом антропогенных нарушений и большими перспективами хозяйственного освоения природных ресурсов. В центре Байкальской Сибири находится озеро Байкал, являющееся участком Всемирного природного наследия ЮНЕСКО.

Байкальская Сибирь результат уникального сочетания природно-географических, исторических и социально-экономических факторов. Общая площадь региона составляет 1558,1 тыс. км<sup>2</sup>. На данной территории проживает 4472 тыс. чел. (на 01.01.2017 г.) [Оценка..., 2017], проходит две железнодорожные магистрали, связывающие Запад и Восток России – Трансибирская и Байкало-Амурская. Байкальский регион, имеющий национальное и международное значение, может и должен стать мировой модельной территорией для отработки механизмов устойчивого развития.

Байкальская Сибирь характеризуется высоким биологическим разнообразием, здесь зарегистрировано 2858 видов и подвидов сосудистых растений, относящихся к 723 родам и 140 семействам, что составляет 62,3 % флоры всей Сибири [Флора..., 2017]. Современная фауна позвоночных представляет сложное генетически разнородное образование. Видовой спектр включает более 500 видов. Нужно отметить, что видовой состав млекопитающих окончательно не установлен, и дальнейшие исследования с использованием новейших методов систематики могут увеличить список видов. Большое видовое разнообразие флоры и фауны Байкальской Сибири обусловлено рядом причин, важнейшие из которых - особенности физико-географических и климатических условий региона, история формирования и своеобразие современной ландшафтной обстановки.

На значительной части Байкальской Сибири (порядка 30%)



расположена Байкальская природная территория. Согласно Федеральному закону «Об охране озера Байкал» [1996], «Байкальская природная территория (БПТ) определена как территория, в состав которой входят озеро Байкал, водоохранная зона, прилегающая к озеру Байкал, его водосборная площадь в пределах территории Российской Федерации, особо охраняемые природные территории, прилегающие к озеру Байкал, а также прилегающая к озеру территория шириной до 200 километров на запад и северо-запад от него». БПТ налагает определенные ограничения на хозяйственную деятельность, ужесточает режим использования земель и тем самым обеспечивает функционирование уникальной природной системы озера Байкал.

Ужесточение экологических требований к хозяйственной деятельности на БПТ повышает актуальность проблемы экологизации природопользования и требует поиска новых путей решения проблемы в регионе.

Проблема экологической оптимизации природопользования, предотвращения или минимизации негативных последствий природопользования в системе отношений человека и природы всегда была предметом внимания географов. Академик В.Б. Сочава [1986] призывал к «сотворчеству человека и природы», академик И.П. Герасимов [1976] определил научные и методические позиции «конструктивной географии», основу которой составляют исследования по разработке проблем планомерного преобразования природной среды с целью эффективного использования естественных ресурсов.

Н.Ф. Реймерс [1990] под рациональным природопользованием понимал систему деятельности, призванную обеспечить экономную эксплуатацию природных ресурсов и условий и наиболее эффективный режим их воспроизводства с учетом перспективных интересов развивающегося хозяйства и сохранения здоровья людей.

Рациональное природопользование подразумевает оптимальное

решение экологических вопросов территории в результате проведения различных хозяйственных мероприятий, напрямую или косвенно влияющих на окружающую природную среду. В большинстве случаев, для геосистем осваиваемых территорий такое воздействие несет деструктивный характер, приводящий к развитию в них антропогенных динамических процессов.

Оптимизации природопользования должна опираться на современные научные представления об экологическом потенциале геосистем, позволяющем обеспечить учет баланса экологических и экономических интересов общества, создать научные предпосылки для разработки правовых природоохранных норм, экономических расчетов, научного и информационно-аналитического обеспечения охраны окружающей природной среды и экологической безопасности. Все это позволяет на новой научной основе разрабатывать пути экологической оптимизации природопользования с учетом современного состояния окружающей природной среды, и при необходимости устанавливать экологические регламентации и ограничения в природопользовании.

### **1.1. Байкальская Сибирь - актуальный регион исследования экологического потенциала геосистем для оптимизации природопользования**

Байкальская Сибирь - регион с уникальным разнообразием геосистем, обусловленным его пограничным положением в центральной части субконтинента Северной Азии (рисунок 1.1). Здесь проходят границы трех физико-географических областей – Среднесибирской, Южносибирской и Байкало-Джугджурской, имеющих свои особенности развития ландшафтно-географических процессов, и определяющие современный природный экологический потенциал геосистем топологического и регионального уровней организации.

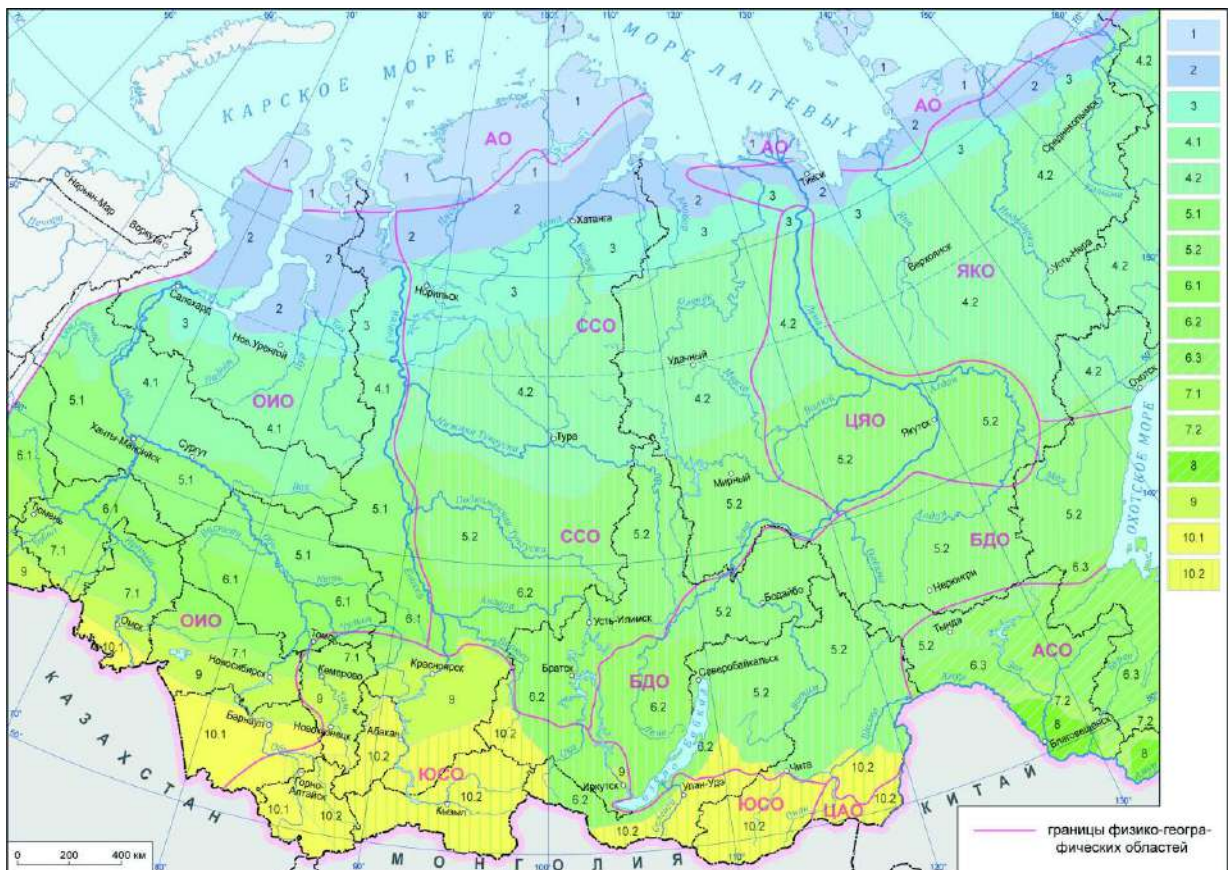


Рисунок 1.1. Схема ландшафтной дифференциации Сибири (М 1: 2 000 000) [Суворов и др., 2015].

Физико-географические области Сибири и Дальнего Востока: АО – Арктическая, ОИО – Обь-Иртышская, ССО – Среднесибирская, ЦЯО – Центральная якутская, ЯКО – Яно-Колымская, ЮСО – Южно-Сибирская, БДО – Байкало-Джугджурская, ЦАО – Центральноазиатская пустынно-степная, АСО – Амуро-Сахалинская, СТО – Северо-Притихоокеанская. Обобщенные типы геосистем: 1 - арктические и субарктические континентальные (ледниковые, полярно-пустынные, аркто-тундровые); 2 - субарктические континентальные (типичные и южные тундровые); 3 - бореально-субарктические (лесотундровые) континентальные и резко континентальные; 4-6 - бореальные: 4 - северотаежные: 4.1 - типичные континентальные (западно-сибирские), 4.2 - резко и крайне континентальные (восточно-сибирские); 5 - среднетаежные: 5.1 - типичные континентальные (западно-сибирские), 5.2 - резко и крайне континентальные (восточно-сибирские); 6 - южно-таежные: 6.1 - типичные континентальные (западно-сибирские), 6.2 - резко и крайне континентальные (восточно-сибирские), 6.3 - притихоокеанские; 7 - бореальные, переходные к суббореальным (подтаежные): 7.1 - континентальные, 7.2 - притихоокеанские; 8 - суббореальные гумидные (широколиственные); 9 - суббореальные семигумидные (лесостепные) континентальные; 10 - суббореальные семиаридные: 10.1 - континентальные (средние и южные степные), 10.2 - резко и крайне континентальные

Следует отметить, что именно в пределах Байкальской Сибири располагается российская часть водосборного бассейна озера Байкал. Основная часть Байкальской Сибири законодательно определена в качестве БПТ, с выделением в ней особых экологических зон (рисунок 1.2). Геосистемы БПТ своим экологическим потенциалом обеспечивают естественное функционирование уникальной экосистемы озера Байкал, являющейся Участком Всемирного природного наследия (УВПН), утвержденным ЮНЕСКО в 1996 г., и, соответственно, нуждающихся в особых режимах сохранения их структурно-функциональных особенностей.

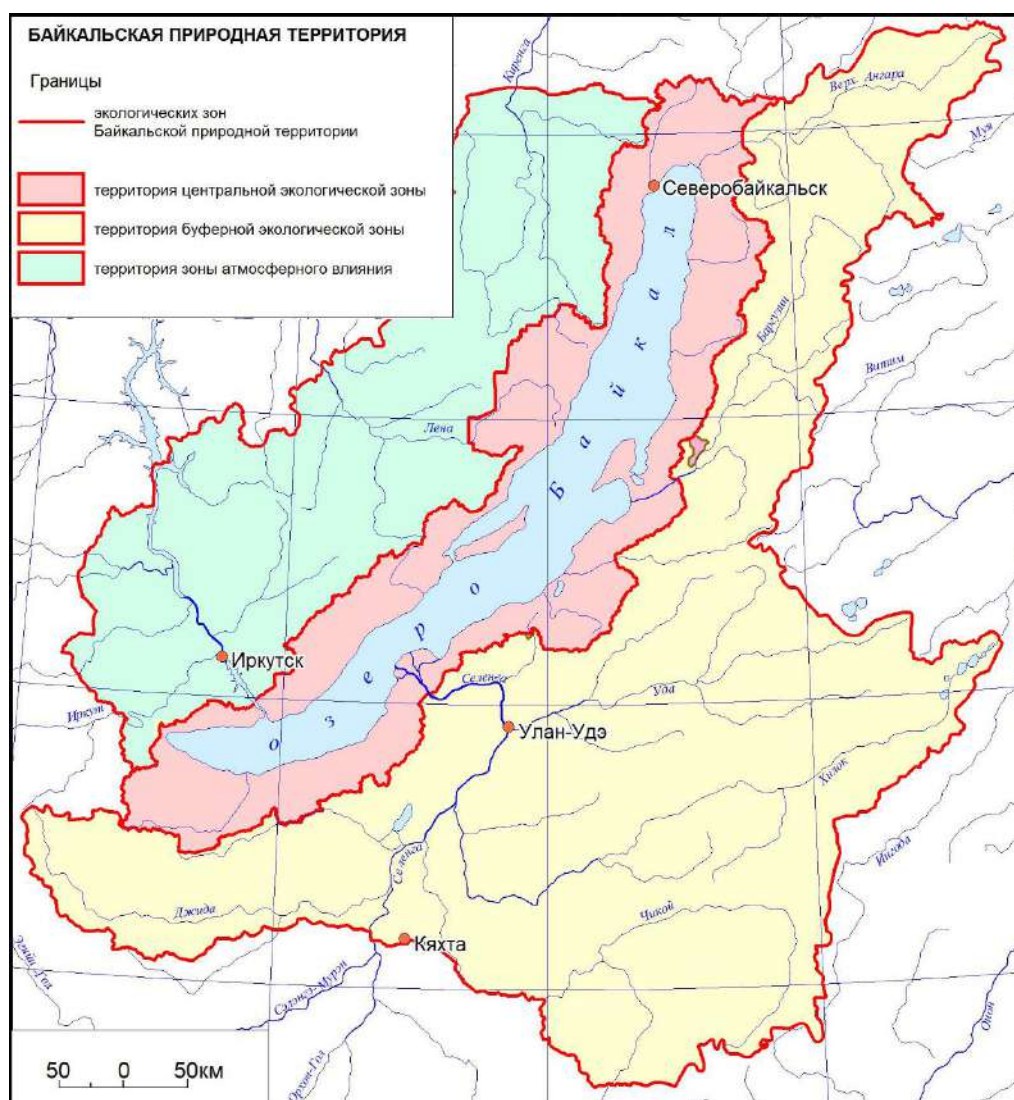


Рисунок 1.2. Границы экологических зон Байкальской природной территории

## Экологические зоны БПТ:

1. Центральная экологическая зона (ЦЭЗ) (89071 км<sup>2</sup> - 23% территории БПТ) – «территория, которая включает в себя озеро Байкал с островами, прилегающую к озеру Байкал водоохранную зону, а также особо охраняемые природные территории, прилегающие к озеру Байкал» [ст. 2, Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ]. ЦЭЗ БПТ по территории совпадает с границами УВПН. Ее граница проходит по внешним границам особо охраняемых природных территорий (Байкальский, Байкало-Ленский, Баргузинский заповедники, Прибайкальский, Забайкальский национальные парки, Прибайкальский, Снежинский, Энхалуковский и Фролихинский заказники) и главным водоразделам основных хребтов, окружающих озеро Байкал (Байкальский, Баргузинский, Верхне-Ангарский, Голондинский, Морской, Улан-Бургасы, Хамар-Дабан, Приморский). Основная функция ЦЭЗ - сохранение уникальной экологической системы оз. Байкал и предотвращение негативных воздействий хозяйственной и иной деятельности на ее состояние. В границах ЦЭЗ, за исключением акватории озера Байкал, 43% территории занимают особо охраняемых природных территорий (ООПТ), по своей сути являющиеся ядром охранной зоны озера Байкал. Геосистемы ЦЭЗ БПТ выполняют важную средоформирующую и средозащитную, а также водоохранную и стокорегулирующую роль для экосистемы озера Байкал.

2. Буферная экологическая зона (213875 км<sup>2</sup> - 57%) - территория за пределами ЦЭЗ, включающая в себя водосборную площадь оз. Байкал в пределах территории РФ. Основной задачей зоны является сохранение природных комплексов, биотического и ландшафтного разнообразия, качества поступающих в озеро Байкал вод. Геосистемы буферной экологической зоны выполняют важную средоформирующую и средозащитную, стокорегулирующую функции

3. Экологическая зона атмосферного влияния (83212 тыс. км<sup>2</sup> - 20%) - территория вне водосборной площади оз. Байкал в пределах территории РФ

шириной до 200 км на запад и северо-запад от него, на которой расположены хозяйственные объекты, деятельность которых оказывает негативное воздействие на уникальную экологическую систему оз. Байкал. Экологическая зона атмосферного влияния целиком располагается в Предбайкалье и главной экологической проблемой здесь является обеспечение экосистемы озера Байкал чистой природной атмосферой, воздушной массой как ее компонента, с естественными влажностными и температурными характеристиками, которые формируются в значительной степени над этой территорией, что поддерживает необходимый условно-естественный уровень вод в озере Байкал. В первую очередь, это зависит от состояния геосистем, выполняющих здесь важные водорегулирующие и газообменные атмосферные функции.

Весь Байкальский регион представляет собой сложную в природно-ландшафтном отношении территорию, обладающую большими запасами различных природных ресурсов – минеральных, земельных, лесных, водных, хозяйственное использование которых, начинается с 50-х гг. прошлого столетия и постоянно возрастает, формируя тем самым сложные экологические проблемы [Белов, Соколва, 2014].

Низкий потенциал устойчивости геосистем Байкальской Сибири к антропогенным нарушениям и, соответственно, замедленные процессы самовосстановления нарушенных геосистем определяются суровостью природных условий, что в свою очередь вызывает определенное количество экологических ограничений в области природопользования, и тем самым стимулирует повышение его рациональности. Все эти ограничения связаны с качеством окружающей природной среды, экологическими рисками и экологической безопасностью населения, с сохранением биологического разнообразия территорий, а также с формированием основ устойчивого эколого-экономического развития.

На территории Байкальской Сибири необходимость экологической оптимизации природопользования обусловлена не только освоением

природных ресурсов, определяющих в настоящее время и в будущем основные направления природопользования, и существенно затрагивающие природные процессы в регионе и снижающие экологический потенциал геосистем, но и особыми природными условиями региона, и как было отмечено выше, особым правовым статусом БПТ, связанным с включением озера Байкал в список Участков всемирного природного наследия в 1996 году [World Heritage List], Федеральным законом «Об охране озера Байкал» [1999], международными конвенциями, регулирующие отношения в области охраны окружающей природной среды, ратифицированных Правительством РФ [Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц, 1971; Конвенция об охране всемирного природного и культурного наследия, 1972; Конвенция о биологическом разнообразии, 1992; и др.].

В сложившихся условиях экологическая оптимизация природопользования на основе учета экологического потенциала геосистем становится основной парадигмой концепции природоохранной деятельности в Байкальской Сибири.

## **1. 2. Определение, природная сущность и социальная значимость экологического потенциала геосистем**

Для понимания, определения и оценки экологического потенциала геосистем необходимо рассмотреть понятие самого термина «потенциал» (от лат. *potentia* – возможность, мощь, сила). В современной научной литературе понятию «потенциал» придают значение возможности, мощи, совокупности средств, способностей, резервов, условий, источников, запасов, ресурсов и т.п., которые могут быть использованы в каких-либо целях [Саранча, 2015].

Потенциал имеет несколько проявлений, которые в совокупности и выражают его сущность [Реанович, 2012; Саранча, 2015]:

– потенциал определяет прошлое с точки зрения отражения совокупности накопленных свойств, ресурсов, обуславливающих способность к какой-либо деятельности и достижения каких-либо целей (потенциал имеет значение «ресурс»);

– потенциал отражает настоящее с точки зрения практического использования имеющихся способностей, возможностей (значение «резерв»);

– потенциал развития, в процессе которого будут сформированы новые способности (значение «возможности») (рисунок 1.3).

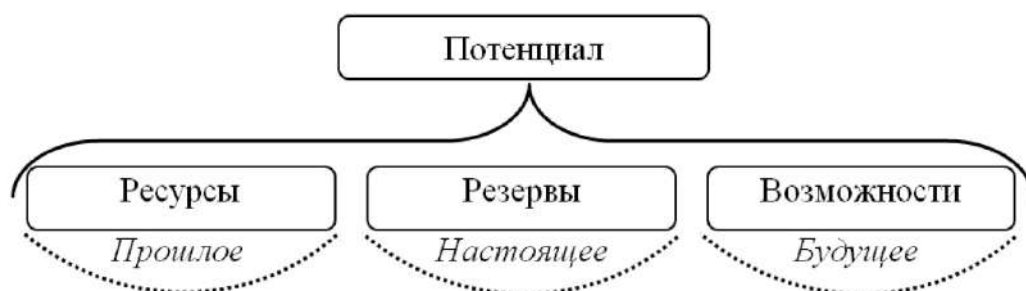


Рисунок 1.3. Составляющие понятия «потенциал».

В географической науке существует несколько терминов, связанных с понятием «потенциал» - природно-ресурсный потенциал, природный потенциал, ресурсный потенциал, экологический потенциал, потенциал территории, природно-экономический потенциал и т.д.

Рассмотрим наиболее распространенные термины в географических науках, связанные с понятием «потенциал».

Понятие «природный потенциал ландшафта» было впервые сформулировано Н.А. Солнцевым: «...те внутренние возможности, которые уготованы в ландшафте самой природой...» [1948, с. 267]. В последующие годы природному потенциалу было посвящено множество работ отечественных и зарубежных ученых. Например, немецкий географ Гюнтер Хаазе определял его как совокупность природных ресурсов и условий общественного воспроизводства [Haase, 1978]. В.В. Рюмин [1984] давал определение природному потенциалу как интегральному единству



отдельных потенциалов: биотической продуктивности, минерально-сырьевого, водного, застройки, устойчивости против нарушений, естественной утилизации отходов, биотической регуляции, рекреационного потенциала.

Ресурсный потенциал характеризуется как объем ресурсов, взятый в сопоставлении с народно-хозяйственными потребностями и с учетом возможностей расширения и пополнения этих ресурсов в долгосрочной перспективе. А.Г. Фонотов [1985] связывает его прежде всего с характеристикой источников ресурсов, в состав ресурсного потенциала он включает запасы природных, материальных, финансовых, информационных ресурсов, а также население. Известный специалист в области исследования региональной экономики К.М. Миско [1985] дает определение ресурсного потенциала как совокупности реализуемых и нереализуемых возможностей продуктивного использования ресурсов территории в процессе максимального удовлетворения общественных потребностей, выражающаяся в ресурсной форме представления. Похожее определение ресурсного потенциала представлено в работе Ф.Н. Клоцвога, И.А. Кушниковой [1998, с. 35] – «совокупность природных и экономических ресурсов, участвующих в достижениях народнохозяйственного результата».

Потенциал территории рассматривается как «совокупность всех имеющихся в ее границах ресурсов (средств, запасов, источников) - материальных и духовных, природных и человеческих, как уже вовлеченных в процессы общественного производства и социального развития, так и тех, которые могут быть использованы для наращивания экономических возможностей, установления и укрепления социально-политической стабильности, повышения уровня и качества жизни населения данной территории» [Татаркин, 1997, с. 8]. А.И. Татаркин в своей работе подчеркивает, что потенциал территории состоит из четырех основных блоков: 1) природная среда и природные ресурсы, 2) население, 3) производственно-экономические ресурсы, 4) организационно-управленческий блок.

Понятие «природно-ресурсный потенциал территории» относится к ключевым концепциям географии природных ресурсов, геоэкологии и природопользования. Появление понятия природно-ресурсного потенциала территории было связано с проблемой различной обеспеченности экономических районов природными ресурсами и необходимостью поиска интегрального показателя, позволяющего сравнивать их между собой. Основная сущность и содержание концепции природно-ресурсного потенциала разработаны в трудах Ю.Д. Дмитриевского [1962], А.А. Минца [1972, 1973], Б.М. Ишмуратова [1979], Ю.П. Михайлова [1980], Г.А. Приваловской, Т.Г. Руновой [1980], В.П. Руденко [1980], А.И. Чистобаева [1980], П.Я. Бакланова [2000], И.Н. Волковой, Г.А. Приваловской, [2004], И.Ю. Новоселовой [2009] и др.

Многие авторы рассматривают природно-ресурсный потенциал как объект природопользования и определяют его, в общем случае, как способность природы обеспечивать настоящие и перспективные потребности общества, прежде всего социально-экономические, при соответствующем уровне развития науки и техники, а рост общественных потребностей, в свою очередь, требует комплексного и рационального использования природных ресурсов [Дмитревский, 1971; Силаев, Шимов, 1977; Соколова, 1986].

А.И. Чистобаев [1980] дает определение природно-ресурсного потенциала как совокупности естественных природных ресурсов, которые могут быть эффективно использованы при данном уровне развития науки, техники, технологий.

Таджикский учёный Х.М. Мухаббатов [1999] понимает под природно-ресурсным потенциалом не только совокупность имеющихся отдельных природных ресурсов, но и особый интегральный показатель, отражающий систему всех компонентов, который можно выделить с учётом механизма взаимодействия человека с природной средой.

С позиции совокупной производительности природных ресурсов природно-ресурсный потенциал рассматривается в работах Н.Г. Игнатенко,

В.П. Руденко [1986], Н.Ф. Реймерса [1990], П.Я. Бакланова [2000], И.Ю. Новоселовой [2009]. П.Я. Бакланов под природно-ресурсным потенциалом понимает определенный предельно допустимый объем добычи всех природных ресурсов из территориальной природно-ресурсной системы (сочетание природных ресурсов, находящихся на определенной территории, между которыми существуют устойчивые взаимосвязи) за максимально длительный период ее освоения при самых эффективных способах освоения и при условии сохранения ее нормального экологического состояния [Бакланов, 2000].

Практически во всех работах отмечается двойственный характер природно-ресурсного потенциала. С одной стороны, это тела и силы природы, с другой – экономические ценности.

В.Н. Лаженцев [2002] различая природный потенциал и природно-ресурсный потенциал, отмечает при этом, необходимость сохранения взаимосвязи между природным и природно-ресурсным потенциалом на принципах геосистемности. Природный потенциал – «взаимообусловленное состояние и взаимодействие тел, элементов и сил природы» [Лаженцев, 2002, с. 73]. В качестве примера природных потенциалов приводятся геологический, биоклиматический, физиолого-климатический и другие природные потенциалы. Природно-ресурсный потенциал рассматривается как «совокупность естественных ресурсов территории, освоение которых технически возможно и экономически оправдано» [Лаженцев, 2002, с. 73].

Н.Ф. Реймерс [1990] дает несколько определений природно-ресурсного потенциала, считая, что природно-ресурсный потенциал является синонимом экологического потенциала (во всех нижеследующих определениях, кроме второго):

«1. Способность природных систем без ущерба для себя отдавать необходимую человечеству продукцию или производить полезную для него работу в рамках хозяйства данного исторического типа. Экономически оцененный природно-ресурсный потенциал в географических рамках государства входит в состав национального богатства страны.

2. В более узком экономическом понимании - это доступная при данных технологиях и социально-экономических отношениях совокупность природных ресурсов.

3. Система природных ресурсов, условий, явлений и процессов, которая, с одной стороны, служит территориальной и ресурсной базой жизнедеятельности общества, а с другой - противостоит ему как объект антропогенного воздействия.

4. Теоретически предельное количество природных ресурсов, которое может быть использовано без подрыва условий, при которых способен существовать и развиваться человек как биологический вид и социальный организм. Определяется уровнем экологического равновесия биосферы и ее крупных подразделений» [Реймерс, 1990, с. 374-375].

А.Г. Исаченко в своих работах [1991, 1991а, 1992] обращает внимание на то, что носителем природного потенциала является не абстрактная территория или административно-территориальная единица, а именно ландшафт, так как все природные ресурсы связаны с определенными вещественными и энергетическими компонентами геосистем, а экономические и административные границы вторичны по отношению к природным. Именно геосистема является элементарным носителем ресурсных функций географической оболочки, что соответствует определению геосистемы – «это целое, состоящее из взаимосвязанных компонентов природы, подчиняющихся закономерностям, действующим в географической оболочке или ландшафтной сфере» [Сочава, 1974, с. 4].

Первые детальные исследования и научное обоснование экологического потенциала ландшафтов принадлежат А.Г. Исаченко [1988, 1991, 1991а, 1992]. Экологический потенциал ландшафта рассматривается в качестве основного понятия экологической географии и географической теории взаимодействия человека и природы.

Природно-ресурсный потенциал в определенном смысле можно рассматривать как сочетание природного и экологического потенциала. Между данными понятиями существует определенное перекрытие, в силу

того, что некоторые виды природных ресурсов выполняют как экологические, так и производственные функции. Однако, в структуру экологического потенциала входят не только определенные природные ресурсы, но и природные условия, и все они должны рассматриваться как экологические факторы.

В настоящее время, существует несколько определений экологического потенциала, но в основном, они сводятся к пониманию его как совокупности природных условий, необходимых для жизни и воспроизводства населяющих данную территорию организмов.

М.А. Голубец дает определение экологического потенциала «как совокупность вещественно-энергетических ресурсов и свойств экосистем, обеспечивающих ее максимально возможные структурно-функциональные параметры (энергетические, организационные, биогеохимические, водотрансформирующие, средовые) и полезные функции (защитные, производственные, рекреационные, редуccionные, ресурсные, эстетические), которые может использовать человека» [Голубец, 2000, с. 264].

Украинский географ О.П. Гавриленко [2008] понимает под экологическим потенциалом пригодность среды для существования людей, возможность обеспечения населения необходимыми продуктами питания, условиями труда, отдыха и лечения.

Белорусские ученые В.Г. Гусаков, З.М. Ильина и др. считают, что «экологический потенциал - характеризует возможность сохранения и функционирования природных систем, рационального использования всех компонентов биосферы в интересах человека» [Продовольственная безопасность..., 2008, с. 278].

В работе Т.Н. Шаталовой, А.С. Серовой дается следующее определение экологического потенциала - «достаточное для непрерывного экономического роста количество и качество природных ресурсов, их воспроизводство, а также прочность благоприятных для жизни взаимосвязей в природной среде» [Шаталова, Серова, 2008, с. 120].

Такие определения исходят из традиционного антропоцентрического подхода, базирующегося на требованиях человека к качеству среды обитания и ориентирующегося на потенциальную полезность природных объектов для человека и удовлетворения его потребностей, т.е. определяющего природу как кладовую разнообразных природных ресурсов.

А.Г. Исаченко подчеркивал фундаментальное значение понятия экологического потенциала и давал его определение как «способность ландшафта обеспечивать потребности населения во всех необходимых первичных (т. е. собственно экологических, не связанных с производством) средствах существования – тепле, воздухе, воде, источниках пищевых продуктов, а также в природных условиях трудовой деятельности, отдыха, лечения и духовного развития...» [Исаченко, 2001, с. 6]. При этом в его работах отмечалось, что не следует отождествлять понятие экологического потенциала ландшафта с его производственно-ресурсным потенциалом.

Подход к оценке экологического потенциала зависит от цели исследований. Если такая оценка проводится для определения влияния окружающей природной среды на благополучие человека или его хозяйственную деятельность, то используются критерии, которые описывают возможные последствия этого влияния (антропоцентрический подход). Когда оценка направлена на определение качества самой природной среды, то основными критериями выступают показатели состояния компонентов геосистем и их функциональных связей (природоцентрический подход).

Антропоцентрический подход к охране природы заключается в поддержании или создании благоприятных экологических условий жизни человека. Суть природоцентрического подхода состоит в необходимости сохранения живой природы в целом [Levrel et al., 2012].

На наш взгляд, при оценке экологического потенциала геосистем необходимо опираться на конструктивное объединение двух подходов - природоцентрического и антропоцентрического, которое предполагает понимание базисной роли природных процессов, объектных отношений

между компонентами геосистем в обеспечении рационального экологически ориентированного природопользования.

Такое толкование связано с пониманием предельности естественного потенциала природной среды, а также резко возрастающим антропогенным воздействием на природные геосистемы и их компоненты. Ведь именно состояние окружающей природной среды определяет комфортность среды обитания человека и здесь встает вопрос, возникающий из разных подходов - каждый человек имеет право на «безопасную для жизни и здоровья окружающую среду» или «благоприятную окружающую среду»?

Объединение подходов при оценке экологического потенциала определяется как совокупность взаимодействующих в пределах конкретной территории топологических, региональных и глобальных геосистем, их компонентов и функциональных связей, обеспечивающих естественное существование и развитие геосистем и их потенциала. Соответственно, природный экологический потенциал в полной мере обусловлен стабильностью и ненарушенностью структурных особенностей компонентов и всех функциональных связей геосистем.

Для конструктивного объединения природоцентрического и антропоцентрического подходов необходимо научно обоснованное представление об организации и состоянии геосистем как целостного объекта, самостоятельного, естественно развивающегося на эволюционно-динамической основе и испытывающего усилившееся деструктивное антропогенное воздействие.

Объединение двух подходов при оценке экологического потенциала геосистем и учете его в природопользовании должно обеспечить:

- создание безопасной и благоприятной для обитания человека окружающей среды;
- обеспечение баланса потребностей экономического благосостояния и экологического благополучия общества;
- совершенствование природоохранного законодательства;

- минимизация негативного воздействия хозяйственной и иной видов деятельности на окружающую природную среду;
- сохранение и восстановление природной среды, сохранение биоразнообразия.

Таким образом, можно сформулировать следующее определение *экологического потенциала геосистем* – совокупность естественных свойств природных систем, особенностей их структурно-функциональных внутренних и внешних связей, сформировавшихся в ходе эволюционного развития природной среды и определяющих их дальнейшее развитие, а также обеспечивающих жизненные потребности биоты и человека при сохранении максимально возможных структурно-функциональных параметров геосистем.

Одной из главных практических целей оценки экологического потенциала геосистем является определение общей характеристики об условиях существования в них людей, создание естественнонаучной основы для рациональной региональной экологической политики.

**Природная сущность экологического потенциала.** Каждый компонент или элемент геосистемы в отдельности может служить объектом экологической оценки, имея в виду определение степени его позитивного или негативного влияния на жизнь людей [Исаченко, 2001; Белов, Соколова, 2014]. Вместе с тем, значение того или иного природного фактора зависит от его сочетания с другими свойствами геосистем. Нередко экологический эффект различных природных факторов оказывается противоположным и взаимоисключающим. Следовательно, оценка природных экологических факторов должна быть комплексной - охватывать всю их совокупность и взаимные связи, выражаемые в понятии экологический потенциал геосистем [Исаченко, 2003]. Набор критериев оценки существенно зависит от уровня изучаемых геосистем - число учитываемых критериев должно возрастать по мере перехода от высших ступеней геосистемного деления к низшим.



Всесторонняя характеристика экологического потенциала геосистем на различных уровнях должна включать определение десятков, сотен показателей, но его сравнительная оценка может базироваться на немногих критериях, а именно на ведущих, или определяющих, экологических факторах [Исаченко, 2003]. Такими факторами являются экологически обязательные, к ним относятся незаменимые и постоянно действующие качества геосистем, отсутствие которых сводит экологический потенциал к нулю.

На глобальном и региональном уровнях экологический потенциал определяется, прежде всего, климатическими условиями. Важное экологическое значение имеют теплообеспеченность и термическая комфортность для благоприятных условий человека, также атмосферные осадки, влажность, продолжительность периода с устойчивым снежным покровом, скорость ветра, опасные климатические явления и т.д. [Исаченко, 2003]. Данные факторы имеют не только прямое, но и опосредованное экологическое значение - от них зависят многие другие, как бы производные экологические свойства геосистем, в том числе первичная биологическая продуктивность, характер растительности, биогеохимические условия, степень потенциальной опасности очагов природных заболеваний, различные опасные природные явления и т. д. [Исаченко, 2003].

Сложное и многообразное экологическое значение для человека оказывает биота геосистем (растительный и животный мир). Естественный растительный покров, прежде всего, является источником кислорода, питания, и лекарственных средств, исключительную ценность имеет рекреационное и эстетическое значение растительного покрова. Это естественно, ведь биота, и в первую очередь, растительность – особо значимый и часто критический компонент природных геосистем, выполняющий в них разнообразные средоформирующие и средозащитные функции, которые определяют состояние и качество окружающей природной среды [Белов, 2008]. При этом растительность является объектом хозяйственных интересов общества, как прямых, так и косвенных,

испытывая при этом разрушительные антропогенные воздействия, вызывающие значительные нарушения ее естественной структуры и изменения направления спонтанного развития, и даже эволюции.

Оценка экологического потенциала геосистем затруднительна по причине разнообразия критериев этой оценки и отсутствия общей единицы измерения. А.Г. Исаченко [2003] для первичной сравнительной оценки и ранжирования экологического потенциала ландшафтов Российской Федерации в качестве общего критерия принял тепло- и влагообеспеченность. В качестве интегрального показателя тепло- и влагообеспеченности был выбран индекс биологической эффективности климата ( $T_k$ ) по Н. Н. Иванову [1962], представляющий собой произведение годовой суммы активных температур в сотнях градусах Цельсия  $T$  (за период со средними суточными температурами выше  $10^{\circ}\text{C}$ ) на коэффициент увлажнения  $K$  (отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости):

$$T_k = 0,01 * T * K.$$

Показатель  $T_k$  обобщает важнейшие климатические параметры - температуру воздуха, влажность (учитываемую при расчетах испаряемости), атмосферные осадки - и хорошо выражает общий экологический фон - во всяком случае, для умеренных широт, где исключены экстремально жаркие условия. Коэффициент  $T_k$  имеет хорошую корреляционную связь с другими показателями: продолжительность комфортного периода, интенсивность биологического круговорота веществ и биологическая продуктивность [Исаченко, 2003] .

На рисунке 1.4 представлена карта «Экологический потенциал ландшафтов РФ» из Национального атласа России [2004]. Данная карта создана на основе «Ландшафтной карты СССР» масштаба 1:4 000 000, где все ландшафты РФ сведены в 7 обобщенных экологических групп и ранжированы в соответствии со шкалой  $T_k$  [Исаченко, 2003]. На карте хорошо прослеживаются основные закономерности территориальной дифференциации экологического потенциала – широтная зональность и долготная секторность.



Рисунок 1.4. Карта «Экологический потенциал ландшафтов РФ» [Национальный атлас России, 2004].

Ландшафты России в зависимости от величины индекса биологической эффективности климата были распределены по следующим уровням экологического потенциала:  $T_k$  - 0-8 - очень низкий,  $T_k$  - 8-12 - низкий,  $T_k$  - 12-16 - средний,  $T_k$  - 16-20 - относительно высокий,  $T_k$  - 20 и более - высокий.

Наибольшие значения индекса биологической эффективности  $T_k$ , близкие к 30–40, отмечены на Черноморском побережье Кавказа, а экстремальные, очень низкие - 0-8 на арктических островах России, что практически исключает постоянное проживание населения. Зона

экологического оптимума находится в средней полосе Европейской части России ( $T_k$  около 20–24). Севернее и южнее естественные условия обитания начинают ухудшаться: к северу - благодаря общему снижению запасов тепла и сокращения комфортного периода, а к югу - вследствие уменьшения естественной влагообеспеченности и из-за избытка тепла.

Наиболее заметно экологические условия ухудшаются по мере удаления от зоны экологического оптимума на восток – повышается континентальность климата, возрастает продолжительность дискомфорта периода зимой и суровость погодных условий, увеличивается зона многолетней мерзлоты, уменьшается флористическое и ценоотическое разнообразие растительности. Для Западной Сибири на широте экологического оптимума характерно уменьшение индекса климата  $T_k$  до 18, а в Восточной Сибири - до 10.

Основные экологические условия ухудшаются и по мере возрастания абсолютной высоты территории над уровнем моря, соответственно, горные ландшафты в этом отношении имеют существенные отличия от равнинных и более низкий экологический потенциал.

Следует заметить, что оценка экологического потенциала на основе климатических показателей возможна только на глобальном, и отчасти на региональном уровне, поскольку главные черты климата сохраняют общность лишь на значительном пространстве. Исчерпывающая оценка всех возможных природных экологических факторов практически не выполнима. Важно учитывать вклад экологических факторов (их весовые характеристики), т. е. отличать главные (определяющие) факторы от второстепенных, уделяя особое внимание факторам, имеющим наибольшее индикаторное и интегративное значение.

На наш взгляд, одним из главных в системе критериев оценки экологического потенциала геосистем на региональном и локальном уровне может выступать биота (конкретно, растительность) [Владимиров 2015], рассматривая ее как сложную, целостную, эволюционно самостоятельно

развивающуюся автотрофную систему, являющейся критическим компонентом географической среды [Сочава, 1978, 1979; Исаченко, 2001, 2003]. Такой геосистемный подход к растительности как одному из важнейших компонентов геосистем разного уровня географической размерности, сформировавшей свою структурно-функциональную организацию в процессе эволюционного развития, и обладающей определенной устойчивостью к внешним факторам воздействия, способностью к самовосстановлению, обеспечивает растительности действительно высокую экологическую значимость в природопользовании [Белов, Соколова, 2014].

Применительно к растительности экологический потенциал можно рассматривать через традиционные биосферные экологические функции растительности [Тишков, 2005; Wang et al., 2011; Tang et al., 2015], например, интенсивность первичной биологической продуктивности, через участие в формировании газового состава атмосферы, депонирование углерода, оценку роли растительности в круговороте воды и минеральных веществ и т. д. Основные экологические функции растительности, безусловно, являются важными и определяющими ее главную роль во всех глобальных, региональных и локальных экологических процессах в биосфере и в современных научных экологических исследованиях оцениваются как «биосферные услуги» [Тишков, 2005], но как показывает практика, к сожалению, еще недостаточно полно применяются в нормативно-правовой базе, регламентирующей деятельность в области природопользования.

Представляется возможным и определение экологического потенциала через оценку совокупности характеристик и экологически значимых свойств растительности [Wang et al., 2011], имеющих определенное значение для практики природопользования, оценка которых необходима при любой хозяйственной деятельности человека (например, биологической продуктивности, степени нарушенности, способности

самовосстановления после антропогенных нагрузок и т. д.). По результатам такой оценки можно сделать выводы об антропогенной устойчивости, экологической значимости растительности геосистем и чувствительности к антропогенным нарушениям, дать оценку последствий взаимоотношений человека с растительностью, как самым динамичным компонентом геосистемы, и способностью последней противостоять антропогенным воздействиям.

Учитывая все вышеизложенное, можно сделать вывод, что оценку экологического потенциала геосистем на глобальном, и отчасти на региональном уровне можно проводить на основе климатических показателей. На региональном и локальном уровнях исследования необходимо учитывать главные, определяющие экологические факторы и условия, которые имеют наибольшее индикаторное и интегративное значение: характеристика растительного покрова (первичная биологическая продуктивность, видовое разнообразие и т.д.), орографические (абсолютная высота, экспозиция и крутизна склонов, и т.д.) и климатические факторы (например, среднегодовые осадки, средняя температура января, средняя температура июля).

**Социальная значимость экологического потенциала геосистем как основы рационального природопользования.** Экологический потенциал геосистем – это, конечно же, и природно-хозяйственная категория, проявление которой обязательно связывается с природопользованием в виде любой хозяйственной деятельности. В результате хозяйственной деятельности принимается во внимание или не принимается и, соответственно, поддерживается или разрушается экологический потенциал геосистем, выработанный в ходе спонтанного эволюционного развития. Этим и определяется степень экологизации (экологической рациональности) природопользования. Экологический потенциал геосистем, даже без учета его природно-ресурсных особенностей, может и должен активно определять направление и масштаб

хозяйственной и иных видов деятельности человека через систему нормативных и правовых ограничений, защищающих геосистемы и направленных на их самосохранение.

Особое место в оценке экологического потенциала и состояния геосистем занимают некоторые социально-экономические показатели [Исаченко, 2003]. Во-первых, они могут использоваться как индикаторы антропогенных нагрузок на геосистемы, во-вторых - как интегральные показатели конечного экологического эффекта, результата воздействия всего природного комплекса на состояние населения, его здоровье, благополучие. Экспериментально была установлена достаточно надежная связь между рядом хозяйственно-демографических показателей (например, плотность населения, уровень сельскохозяйственной освоенности территории и т.д.) и экологическим потенциалом основных типов ландшафтов России [Исаченко, 2003]. Между тем к таким индикаторам следует относиться с определенной осторожностью и использовать их как дополнительные (вспомогательные), принимая во внимание опосредованный характер связей между природной средой и населением, несовершенством многих видов статистической отчетности.

Социальная сущность экологического потенциала геосистем неразрывно связана с функциями геосистем. В значительной степени это обусловлено разносторонней ролью геосистем в жизни и хозяйственной деятельности человека. Такая роль определяется как социально-экономическая в противовес экологическим функциям. Подобное разделение в определенной степени условно, так как экологические функции обычно рассматриваются с позиций потенциальной пользы или опасности для интересов человека. Собственно, поэтому их учет в организации рационального природопользования является крайне необходимым. Как правило, социально-экономическая роль и экологические функции геосистем взаимосвязаны, но реализуются на конкурентных, и часто взаимоисключающих началах [Белов, Соколова, 2012].

В.И. Кирюшин [2015, 2018] к основным экологическим функциям геосистем относит: биоэкологические (биоценотические и биотопические (обеспечения разнообразия и взаимосвязей местообитаний, определяющих и формирующих биоразнообразие), биопродукционная (биоресурсная), биоэнергетическая, биогеохимическая, концентрационная, окислительно-восстановительная, деструкционная, активаторно-ингибирующая, санитарная); атмосферные (газообменная, водо- и климатоформирующая и регулирующая), литосферные (рельефообразующие, литологические); гидрологические и гидрогеологические.

Оценка экологических функций геосистем является основой для определения социально-экономических функций, которые направлены на удовлетворение различных потребностей общества - функции снабжения ресурсами, в том числе абиотическими (кислородом, светом, водой, теплом, топливом, энергией - световой, гидро- и геотермальной, ядерной, топливом), биологическими природными (древесиной, торфом, каучуком, различными смолами, пищевыми лесными ресурсами и т.д.), биологическими культивируемыми (продукция растениеводства, животноводства, лесоводства); несущие функции, включающие предоставление пространства для предприятий промышленности, энергетики и др., а также водохозяйственную, транспортную, селитебную, рекреационную, информационную и культуроформирующую функции.

При таком подходе, например, производительная (социально-экономическая) функция геосистем измеряется урожайностью сельскохозяйственных культур, качеством продукции, энергозатратностью, различными экономическими и экологическими показателями производства и его устойчивости и т.д., и выбирается на основе учета и анализа определенного набора перечисленных экологических функций. Особое значение приобретает биопродукционная функция, измеряемая величиной первичной биологической продукции, которая определяет потенциал продуктивности геосистемы и, в частности, имеет большое влияние на



регулирование условий функционирования агроландшафтов. Поступление в почву опада и биомассы, остающейся после изъятия урожая и поступающего на поверхность, важно для поддержания биогеохимических (биологического круговорота), энергетических, санитарных и других экологических функций [Кирюшин, 2015].

Таким образом, экологический потенциал геосистем зависит как от его природных свойств, так и от направления и форм существующего хозяйственного использования. Он рассматривается с социально-экономической, хозяйственной, функциональной точек зрения, например, как способность геосистем удовлетворять рекреационные, сельскохозяйственные, градостроительные и прочие потребности общества.

По отношению к каждой функции геосистема характеризуется определенным природным потенциалом - способностью выполнять эту функцию, сохраняя при этом свою структуру и природные особенности. В отличие от функции геосистемы, которая задается ей извне, можно сказать «навязывается» обществом, экологический потенциал - ее внутреннее, естественное свойство, которое геосистема имеет по отношению к любой функции независимо от того выполняет она ее в данный момент или нет.

Необходимо отметить, что экологический потенциал геосистем динамичен, изменяется во времени. Динамика определяется как научным, технологическим, экологическим, культурным и другими уровнями развития общества, так и сменой его потребностей. Известно, что природа и общество развиваются по разным законам. Вся историческая действительность человечества отражает собой общественный процесс, природный процесс представляет собой эволюцию географической оболочки, ее последовательные изменения.

Развитие общества должно базироваться не на противопоставлении человека окружающей природе, а на осознании и понимании того, что человек является органической неотделимой частью природы. «Человечество - часть природы, и необходимым условием его

существования служит непрерывный обмен веществом (метаболизм) с окружающей природой» [Исаченко, 1991, с. 75].

\* \* \*

Принцип, выдвинутый академиком В.Б. Сочавой, что рационализация природопользования должна основываться не на «покорении природы», а на «сотворчестве человека с природой», был разработан на основе учения о геосистемах и до сих пор не потерял своей актуальности: «Под сотворчеством мы понимаем осуществляемую человеком систему мероприятий, направленную на развитие потенциальных сил природы, активизацию природных процессов, увеличение продуктивности геосистем, а, следовательно, и коэффициента полезного использования энергетических возможностей земного пространства. Сотворчество с природой основано на использовании и оптимизации тенденций, свойственных природе, ее интегральных (а не частных) режимов» [Сочава, 1978, с. 254].

Сотворчество отражает физико-географический процесс, который управляется и стимулируется человеком в необходимом для него направлении с условием сохранения геосистем и улучшения качества окружающей природной среды.

Подход к оценке экологического потенциала зависит от цели исследований. Так, если оценка проводится для определения воздействия окружающей природной среды на благополучие, здоровье человека или его хозяйственную деятельность, то используются критерии, описывающие возможные последствия этого влияния (антропоцентрический подход). Когда оценка направлена на определение качества самой природной среды, то критериями должны выступать показатели состояния природных компонентов геосистем и их функциональных связей (природоцентрический подход).

Современное представление об экологическом потенциале геосистем опирается на конструктивное объединение двух подходов к его оценке - природоцентрического и антропоцентрического, с основным акцентом на

первый, что обеспечивает рациональное экологически ориентированное природопользование, экологическую безопасность и предупреждение экологических рисков - что становится особенно важным и актуальным для такой территории, как Байкальская Сибирь, представляющую собой сложную в природно-ландшафтном отношении территорию, которая к тому же обладает большими запасами различных природных ресурсов. Хозяйственное освоение которых непрерывно возрастает, тем самым формируя сложные экологические проблемы. Необходимость экологизации природопользования в Байкальской Сибири обусловлена не только освоением природных ресурсов, но и уникальными природными условиями региона, и как было отмечено выше, особым правовым статусом Байкальской природной территории.

Хозяйственная деятельность должна учитывать и поддерживать экологический потенциал, выработанный в ходе спонтанного эволюционного развития геосистем.

## **Глава 2. Природная основа экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири**

Территория Байкальской Сибири представляет собой географическое пространство, сложное по происхождению, истории развития и современному ландшафтному образу. Она включает в себя Среднесибирское плоскогорье, горы Южной Сибири, горные хребты и межгорные котловины Прибайкалья, Станового нагорья и Забайкалья. Здесь располагается уникальное природное образование - озеро Байкал, признанное мировым сообществом Участком природного мирового наследия ЮНЕСКО. В целом, данный регион имеет много общего в плане ландшафтно-климатических особенностей как внутриконтинентальный регион субконтинента Северной Азии [Сочава, Тимофеев, 1968].

Особенности климата Байкальской Сибири определяются центральным положением в поясе умеренных широт и, соответствующими циркуляционными процессами в атмосфере, а также сложной орографией региона. В общем, климат этого региона характеризуется определенной степенью суровости, и определяется как резко континентальный, с большими амплитудами температур и умеренным количеством осадков. Степень континентальности климата возрастает в восточном направлении, достигая наибольших значений в котловинах Забайкалья.

Растительность геосистем Байкальской Сибири довольно разнородная по физиономическим и флоро-ценотическим чертам, представляя собой сложное гетерогенное и гетерохронное образование, одновременно обладающее своеобразностью ландшафтно-климатической обстановки как в прошлом, так и настоящем [Белов, Соколова, 2015].

Основой формирования природного экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири является эволюция природного процесса в голоцене. Сложная ландшафтная структура Байкальской Сибири обусловлена региональными особенностями рельефа и климата. История ее развития, как и всей Северной Азии, определялась воздействием различных

глобальных и региональных факторов и, прежде всего, связано с изменением климата и развитием тектонических процессов рельефообразования. Все это представляет собой механизм, названный А.А. Григорьевым [1943] физико-географическим процессом, пронизывающим все составляющие географической оболочки. Ландшафты он считал внешним выражением этого процесса [Григорьев, 1946], а «изучение характерных для каждой типичной физико-географической провинции (зоны) системы балансов вещества и энергии» [Григорьев, 1937, с. 501] - одной из главных задач географии. В.Б. Сочава при создании теории структурно-динамического ландшафтоведения, принципов изучения интеграции природных режимов, отмечал, что при их взаимодействии «в результате которого возникает особое качество, своего рода ландшафтообразующий эффект. Этот эффект определяет самодвижение геосистемы и, видимо, представляет собою действующее начало физико-географического процесса, как его понимает А. А. Григорьев» [Сочава, 1970, с. 23].

Для оценки экологического потенциала геосистем необходимо рассмотреть природные условия развития и естественные свойства геосистем, особенности их структурно-функциональных внутренних и внешних связей, сформировавшиеся в ходе эволюционного развития природной среды и определяющие их дальнейшее естественное развитие.

### **2.1. Природные условия развития геосистем Байкальской Сибири**

Байкальская Сибирь характеризуется большим разнообразием форм рельефа, обусловленного сложным геологическим строением и комплексом слагающих ее магматических, метаморфических и осадочных пород.

В структурно-геологическом отношении Байкальская Сибирь четко разделяется на две большие области: Восточно-Сибирскую возвышенную платформенную равнину с обрамляющими ее палеозойской и мезокайнозойской складчатыми зонами Саяно-Байкальского станового нагорья и средневысотных гор Забайкалья. Каждая из этих крупных структурно-геологических областей характеризуется определенными особенностями

геологической истории и рельефа [Салоп, 1960; Адаменко и др., 1971; Олюнин, 1975].

Восточно-Сибирская возвышенная платформенная равнина рассматривается как крупный морфотектонический элемент земной поверхности – геотектура, являющаяся частью континентального выступа Евразии [Герасимов, 1959; Адаменко и др., 1971]. Она стоит в одном ряду с другими равнинами Евразии, такими, как Восточно-Европейская (Русская) и Западно-Сибирская, но отличается от них абсолютной высотой и сложностью рельефа.

Восточно-Сибирская возвышенная равнина, объединяющая плоскогорья и низменности Восточной Сибири, в геологическом плане совпадает с границами Сибирской платформы. Последнюю почти по всему ее периметру ограничивают широкие зоны крупных глубинных разломов, отделяющих ее от соседних геоструктурных зон.

Орографические границы Восточно-Сибирской платформенной равнины хорошо выражены. С запада равнина ограничена долиной Енисея, вдоль правого берега которого прослеживается уступ высотой от 50 до 200 м над ур. м., отделяющий Среднесибирское плоскогорье и Енисейский кряж от Западно-Сибирской низменной равнины. На юго-западе и юго-востоке границы равнины резко выражены в виде уступа высотой от нескольких сотен до тысячи и более метров, совпадающего с внешними склонами Восточного Саяна и Байкальской горной области.

Восточно-Сибирская равнина в рельефе Евразии образует обширную высотную ступень, являющуюся переходной от горных хребтов и нагорий Центральной и Восточной Азии к низким равнинам Западной и Северной Сибири.

Рельеф Восточно-Сибирской равнины характеризуется большим разнообразием. Основная часть ее занята высокими плато и плоскогорьями с абсолютными отметками 400-900 м над ур. м. Большая часть ее относится к Среднесибирскому плоскогорью, занимающему западную и центральную части Байкальской Сибири. На западе оно ограничено Енисейским кряжем,

восточная часть территории заняты Центрально-Якутской низменностью, юго-восточная часть Лено-Алданским плато и Алданским нагорьем.

Среднесибирское плоскогорье также неоднородно по рельефу. Выделяются три части - повышенные западная и восточная, и разделяющая их, пониженная центральная. К западной повышенной части относятся Енисейский кряж, Заангарское и Тунгусское плато. Восточная, повышенная часть плоскогорья представлена Лено-Ангарским, Приленским и Лено-Алданским плато [Коржуев, 1965, 1975], и примыкает к Саяно-Байкальскому и Становому нагорьям, от которых отделяется узкой полосой предгорных понижений - Иркутско-Черемховской подгорной равниной и Предбайкальской впадиной.

Центральная пониженная часть Среднесибирского плоскогорья прослеживается от Канско-Рыбинской подгорной впадины через Приангарское плато, Муринскую низменность, Центрально-Тунгусское плато до Центрально-Якутской низменности. Эта пониженная зона в общих чертах совпадает с Ангаро-Вилуйским внутриплатформенным прогибом [Флоренсов, Олюнин, 1965; Адаменко и др., 1971].

В истории развития рельефа плоскогорий и низменностей Среднесибирской платформы выделяются два крупных этапа - геологический (докембрий-палеозой-триас) и геоморфологический (юра-мел-кайнозой). Если в первый период происходило формирование геологической структуры кристаллического цоколя и осадочных отложений Сибирской платформы, то со вторым связано собственно формирование современного рельефа.

Всю Восточно-Сибирскую платформенную равнину и прилегающие к ней горные хребты в миоцене-эоплейстоцене охватила активизация неотектонических движений. Горные сооружения Южной и Восточной Сибири приобрели в это время современный облик по высоте и характеру расчленения [Флоренсов, 1960; Олюнин, 1968, 1975]. К началу плейстоцена, после завершения поднятий (главной фазы неотектонических движений) были в основном сформированы главные особенности структуры рельефа Восточно-Сибирской платформенной равнины. В плейстоцене

преобразование рельефа было связано, в значительной степени, с эрозионной деятельностью рек и комплексом ледниковых явлений, сопутствующих им процессов морозного выветривания, солифлюкции и других криогенных явлений.

В голоцене на фоне восходящих неотектонических движений отдельных блоков Сибирской платформы получил свое современное оформление рельеф равнин и плато Среднесибирского плоскогорья. К этому периоду относится окончательное формирование гидрологической сети и структуры рельефа речных долин.

Среднесибирское плоскогорье расчленяется речной сетью на ряд изолированных плоских возвышенностей. Абсолютные отметки водоразделов колеблются от 400-600 до 800-900 м над ур. м. Равнинность рельефа усиливается наличием на большей части плоскогорья мощных покровов траппов, образующих на плоских водоразделах бронирующие поверхности. В целом, для плоскогорья характерен достаточно однообразный слабоволнистый эрозионно-денудационный рельеф, но в определенных районах, таких как Ангарский кряж, он приобретает горный характер, где траппы отпрепарированы эрозией и денудацией.

Основные реки Среднесибирского плоскогорья – это крупнейшие водные системы Сибири – 1) Енисей с его правыми притоками Ангарой, Подкаменной и Нижней Тунгусками, 2) Лена с крупными притоками Киренга, Вилюй которые имеют хорошо выработанные долины со сложными террасными комплексами, разного генезиса и возраста.

Среднесибирское плоскогорье на юге и востоке примыкает к обрамляющей ее палеозойской и мезо-кайнозойской складчатой области Саяно-Байкальского станового нагорья и средневысотных гор Забайкалья. Центральную часть этой области образуют высокие горные хребты - Восточный Саян, горы Прибайкалья и Становое нагорье, которые в виде S-образной зоны протягиваются с юго-запада на северо-восток почти на 3 тыс. км [Михайлов, 1968].

Восточный Саян, имеющий общее субширотное северо-западное



простирается, в орографическом плане неоднороден. Он включает относительно невысокий Передовой хребет (высоты 1000-2300 м над ур. м.) и собственно Восточный Саян, состоящий из высоких, почти широтно расположенных хребтов - Окинских, Китойских и Тункинских гольцов (2000-3400 м над ур. м.) и Окинских плоскогорья (1200-2200 м над ур. м.).

Горы Прибайкалья, имеющие общее субмеридианальное юго-восточное простирание, образуют окружающие озеро Байкал разновысотные горные хребты - Приморский, Байкальский, Баргузинский, Икатский, Голондинский, Хамар-Дабан и Улан-Бургасы (высоты 1500-2800 м над ур. м.) и узкие межгорные котловины «байкальского типа» - Баргузинскую, Тункинскую, Верхне-Ангарскую, Маломорско-Бугульдейскую и ряд других более мелких впадин.

Становое нагорье, продолжающее горы Прибайкалья на север, имеет почти широтное направление простирания хребтов и котловин. Высокие горные хребты - Южно-Муйский, Северо-Муйский, Делюн-Уранский, Каларский, Кодар, Удокан и др. с высотами 2000-3000 м над ур. м. и выше, чередуются с глубокими межгорными котловинами - Верхнеангарской, Муйско-Куандинской, Чарской, и др.

Севернее располагается Байкало-Патомское нагорье, состоящее из разновысотных горных хребтов и плато (1000-2000 м над ур. м.), узких котловин, вытянутых в северо-восточном направлении.

На юго-востоке Байкальской Сибири располагается зона средневысоких гор Забайкалья. Для данной территории характерно чередование низких и средневысотных горных хребтов и длинных узких межгорных котловин, имеющих общее северо-восточное простирание. Наиболее сильно расчленено Селенгинское среднегорье, где относительные высоты достигают 300 м и более, а абсолютные до 800-2000 м над ур. м. В Селенгинское среднегорье включаются ориентированные в северо-восточном и восток-северо-восточном направлении хребты - Боргойский, Бургутуй, Заганский, западная часть Малханского хребта, южный склон Малого Хамар-Дабана, Моностой, Хамбинский, Худанский, Цаган-Дабан и др. Межгорные

понижения занимают Бичурская, Боргойская, Гусиноозёрская, Убукуно-Оронгойская, Тугнуйская, Удино-Иволгинская, Худано-Кижингинская впадины и др.

Наименее расчленено Витимское плоскогорье, высота которого достигает 1200-1600 м над ур. м. Днища узких котловин, освоенные по большей части речной сетью, находятся на высоте 500-900 м над ур. м.

Рельеф горной области Байкальской Сибири, которую определяют, как «Горы Южной Сибири» [Михайлов, 1968], имеет сложный генезис. Главным фактором формирования рельефа здесь несомненно выступают кайнозойские неотектонические движения, развившиеся на месте зон древних протерозойских и палеозойской складчатости [Флоренсов, Олюнин, 1965; Олюнин, 1968].

Дифференцированные тектонические подвижки вдоль возродившихся в кайнозое глубинных разломов привели к возникновению наиболее высоких горных хребтов с альпинотипным рельефом и глубоких межгорных впадин Байкальской рифтовой зоны. Таким образом, горные хребты в Саяно-Байкальском становом нагорье представляют собой крупные блоки-сегменты обширных пологих сводообразных поднятий, разбитых более молодыми разломами на более мелкие блоки. В зоне Забайкальских средневысотных гор хребты представляют собой узкие асимметричные пологие своды, осложненные на крыльях разломами [Флоренсов, Олюнин, 1965].

Неотектонические движения развиваются и в настоящее время, определяя высокую сейсмичность региона, одну из наиболее сейсмически активных внутриконтинентальных областей планеты, с мощностью землетрясений от 6-7 до 9-11 баллов.

В истории формирования рельефа этой зоны также отчетливо выделяется кайнозойский геоморфологический этап развития. В плейстоцене, наряду с неотектоническими процессами, вызвавшие трансформацию миоцен-плиоценовой поверхности выравнивания и формирование крупных элементов рельефа, активизировались и различные экзогенные рельефообразующие процессы: склоновые эрозионные,

гляциальные, мерзлотные и др.

В результате деятельности плейстоценовых ледников и нивальных процессов в высокогорных частях горных хребтов сформировался альпийский рельеф с карами, трогами и моренными образованиями в предгорьях и речных долинах

Одновременно активизировались процессы аккумуляции отложений в межгорных котловинах. Аллювиальные, делювиальные, пролювиальные и флювиогляциальные отложения, выносимые водными потоками, образовали в котловинах конуса выноса и внутриконтинентальные дельты различных размеров и разными уклонами поверхностей.

В ряде котловин были накоплены крупные массивы песчаных отложений озерно-флювиогляциального генезиса, которые в дальнейшем подверглись серьезной эоловой переработке с образованием дюн и барханов. В голоцене склоновые процессы проходили здесь достаточно интенсивно. Плоскостная денудация и солифлюкционные процессы, связанные со сплошным или островным распространением многолетнемерзлых пород, встречаются на больших пространствах.

Главные реки - Иркут, Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, Хилок, Чикой, Уда, Турка, Джида и др. возникли еще до кайнозойского неотектонического преобразования рельефа и не меняли своего основного направления. Соответственно, данные реки и их притоки активно участвовали в эрозионно-денудационной и аккумулятивной перестройке рельефа региона на протяжении всего кайнозоя.

Все эти экзогенные рельефообразующие процессы определили особенности современного рельефа этой обширной горной территории, развивавшиеся в условиях континентального климата, хоть и с изменяющимися характеристиками увлажнения и температуры на разных этапах плейстоцена и голоцена.

**Климат.** Климатические условия Байкальской Сибири характеризуются достаточной степенью суровости. В общем, климат региона определяется как резко континентальный и степень его континентальности

возрастает в восточном направлении.

Сложная орография региона и центральное положение на субконтиненте Северной Азии в поясе умеренных широт (между 49° и 65° с.ш.) с соответствующими циркуляционными процессами в атмосфере определяют особенности климата Байкальской Сибири [География Сибири..., 2015].

Источником влаги являются воздушные массы атлантического и тихоокеанского переносов. Для большинства районов Байкальской Сибири преобладает западный (атлантический) перенос воздушных масс. В восточных районах Забайкалья прослеживается влияние муссонов тихоокеанского происхождения. В зимний период оно отмечено только в высокогорьях горных хребтов Станового нагорья [Мухина и др., 1965]. Но, в целом, приходящие сюда воздушные массы характеризуются относительно низким влагосодержанием из-за значительной удаленности региона от океанов.

Большое влияние на распределение осадков оказывает рельеф. Склоны горных хребтов, обращенные в сторону влажных ветров, всегда получают значительно больше осадков, чем противоположные. Ярким примером служит хребет Хамар-Дабан: его северо-западные склоны, обращенные к озеру Байкал, получают осадков до 900-1500 мм/год, а юго-восточные склоны – 300-500 мм/год.

Высокая прозрачность атмосферы и низкая степень образования облачности создает значительную продолжительность солнечного сияния в этих районах - от 1500 до 2500 часов в год в западных районах, до 3000 часов в восточных, что заметно превышает среднеширотные значения. В результате суммарная радиация здесь составляет 3350-4700 МДж/м<sup>2</sup> в год. Но при этом значительные потери тепла происходят за счет эффективного излучения подстилающей поверхностью.

На территории Байкальской Сибири годовой радиационный баланс положителен и колеблется от 840-1050 МДж/м<sup>2</sup> в северных и центральных районах до 1450-1675 МДж/м<sup>2</sup> в юго-восточных, преимущественно степных

районах Забайкалья [Галахов, 1964; Жуков, 1965; Гидроклиматические..., 2013]. В целом, эти значения несколько ниже аналогичных показателей для районов Европейской части страны, что обусловлено продолжительным периодом залегания снежного покрова в Сибири.

В условиях расчлененного рельефа Среднесибирского плоскогорья и горных хребтов Прибайкалья и Забайкалья происходит существенное перераспределение солнечной радиации в связи с экспозицией склонов. На склонах южной и юго-западной экспозиций возникают условия радиационного режима, резко отличающиеся от собственно зонально-широтных.

Средние годовые температуры воздуха почти на всей территории Байкальской Сибири отрицательны, хотя в южных районах они приближаются к  $0^{\circ}$ , все это объясняется большими потерями тепла на таяние снежного покрова и расходами на испарение с поверхности почвы, что особенно характерно для таежных и горно-таежных районов. Средняя продолжительность безморозного периода - 60-80 дней.

Индекс сухости (отношение годового радиационного баланса земной поверхности к сумме теплоты, необходимой для испарения годовой суммы осадков анализируемой территории) составляет 0,45-1,0 в таежных и горно-таежных районах, что показывает на достаточную и даже немного избыточную увлажненность территории [Будыко, 1971]. В степных районах Забайкалья индекс сухости равен 1,5-1,8, что говорит о большом дефиците влаги [Жуков, 1965].

Количество осадков в Байкальском регионе колеблется от 250-350 мм/год в степных районах южного Забайкалья и межгорных котловинах до 900-1500 мм/год для наветренных склонов горных хребтов Восточного Саяна, Прибайкалья и Станового нагорья [Гидроклиматические..., 2013].

Континентальность климата Байкальской Сибири хорошо проявляется и в характере сезонных периодов года. Зима длительная и суровая, с малым количеством осадков. Продолжительность зимы составляет 6-8 месяцев. Лето - наоборот, короткое и теплое. В теплый период с мая по сентябрь выпадает

65-85 % годовой суммы осадков, и значительная часть из них приходится на вторую половину лета.

В зимний период климатические условия региона определяются в большей части развитием здесь Сибирского антициклона. Формирование антициклональной области начинается поздней осенью над районами Восточной Якутии, но уже в первой половине зимы ее центр, где давление бывает особенно высоким, смещается к югу - в районы Забайкалья, и за пределы России, в Северную Монголию.

Устойчивый антициклональный режим зимой господствует на большей части территории Байкальской Сибири и обуславливает преобладание безветренных солнечных малоснежных суровых погодных условий. Самый холодный месяц – январь, средняя температура которого достигает от  $-25$  до  $-35^{\circ}\text{C}$ .

Зимой в условиях горно-котловинного рельефа Прибайкалья и Забайкалья проявляются температурные и влажностные инверсии. В межгорных котловинах формируются «озера холода», где температура воздуха может опускаться ниже  $-40-50^{\circ}\text{C}$ , а на склонах хребтов она увеличивается с высотой на  $1,5-2^{\circ}\text{C}$  на каждые 100 м до абсолютной высоты 1500-1700 м над ур. м., что часто выше, чем широтно-зональный градиент повышения температуры на  $1^{\circ}$  широты. Неравномерно распределен и снежный покров, в котловинах его высота составляет 10-30 см, а на склонах горных хребтов мощность снежного покрова может достигать 1 м и более [Жуков, 1965].

Значительной высотой снежного покрова (до 60 см) характеризуются западные таежные районы Среднесибирского плоскогорья, такие как Ангарский кряж, водоразделы Лено-Ангарского плато и Патомского нагорья. Для большинства южных районов Байкальской Сибири, особенно, степных, зима отличается малоснежностью, мощность снежного покрова здесь всего 5-10 см.

Низкие зимние температуры воздуха и относительно небольшой снежный покров способствует практически повсеместному развитию или

сохранению в пределах Байкальской Сибири многолетнемерзлых пород, за исключением южных районов Среднесибирского плоскогорья, где ее распространение имеет островной характер. Прерывистый характер имеют многолетнемерзлые породы также и в южных районах Забайкалья, где распространение таликов приурочено к низким водоразделам, склонам южной экспозиции и примыкающим к ним речным долинам.

Многолетнемерзлые толщи сплошного и прерывистого распространения развиты на всех элементах рельефа в среднегорной, высокогорной и гольцовой зонах. Талые породы встречаются только под крупными реками, озерами и в зонах тектонических разломов с выходом подземных вод на земную поверхность, по трещинам экзогенного выветривания, а также на песках, галечниках и закарстованных породах. Среднегодовая температура толщи колеблется в пределах от  $-0,5^{\circ}\text{C}$  до  $-3^{\circ}\text{C}$  [Экологический..., 2015].

Острова мерзлых пород встречаются на всех элементах рельефа, обычно на сырых, заболоченных или затененных участках, в горах выше 1000-1200 м над у.м. Закарстованные породы и песчаные массивы преимущественно бывают талыми. Величина среднегодовой температуры мерзлой толщи - от  $-0,2^{\circ}\text{C}$  до  $-1^{\circ}\text{C}$ .

Редкоостровное расположение многолетнемерзлых толщ приурочено к заболоченным участкам по днищам долин, в нижней части северных склонов возвышенностей, сложенных заторфованными с поверхности глинистыми породами. Среднегодовая температура мерзлой толщи находится в пределах от  $-0,1^{\circ}\text{C}$  до  $-0,5^{\circ}\text{C}$ .

При спорадическом размещении многолетнемерзлых толщ отдельные острова и линзы мерзлых пород встречаются исключительно в сырых низинах, сложенных заторфованными с поверхности суглинками и супесями. Среднегодовые температуры мерзлой толщи колеблются от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $-0,2^{\circ}\text{C}$ .

Область только сезонного промерзания грунтов получила распространение в долине р. Ангары и дельте р. Селенги [Экологический..., 2015].

Летний период в Байкальской Сибири относительно короткий и теплый, а на юге, в степной полосе Забайкалья, даже жаркий. Продолжительность лета - 2,5-3 месяца, хотя в высокогорьях горных хребтов лето длится всего 1 месяц. Безморозный период еще короче и составляет 1,5-2 месяца. Последние заморозки отмечаются в середине-конце мая, первые наступают уже в конце августа. В горах эти сроки еще меньше - до 1 месяца [Галахов, 1964; Жуков, 1965].

Средняя температура июля, самого теплого месяца в Байкальской Сибири, составляет +25-35°. Первая половина лета, также, как и весна, обычно сухие, что приводит к благоприятным условиям для развития лесных пожаров. В степных котловинах Забайкалье в этот период преобладают засушливо-суховейные погоды. Вторая половина лета характеризуется как умеренно-влажная, в это время выпадает более 50% годовой суммы осадков, которые приходят с циклонами преимущественно западного переноса.

Одним из важнейших показателей климатических условий, оказывающих влияние на экологический потенциал геосистем Байкальской Сибири, является обеспеченность теплом. Она характеризуется суммой положительных температур, имеющей прямую связь с радиационным балансом территорий [Будыко, 1956]. В распределении тепловых ресурсов прослеживаются четкие зонально-широтные и высотно-поясные закономерности. На Среднесибирском плоскогорье для районов северной и средней тайги характерна сумма положительных температур 1000-1200° и 1200-1400° соответственно. Для районов подзоны южной тайги Средней Сибири сумма температур составляет 1400-1600°. В широких котловинах юга Забайкалья и степных районах в пределах подгорных равнин Восточного Саяна сумма положительных температур достигает максимальных для Байкальской Сибири значений - 1800-2000° и более. В пределах расчлененного рельефа плато и плоскогорий значения теплообеспеченности меняются в зависимости от экспозиции склонов - на южных склонах показатели выше, чем на водоразделах, и на северных и восточных склонах.

В условиях горного рельефа наименее обеспечены теплом гольцовые



высокогорные части горных хребтов. Суммы положительных температур здесь составляют всего 600-800°. Наиболее теплыми являются нижние части склонов и днища межгорных котловин. Градиент снижения тепловых ресурсов при движении вверх по горным склонам на каждые 100 м высоты составляет 100-150°.

Особые климатические условия характерны для межгорной котловины озера Байкал, определяющиеся замкнутостью котловины, субмеридианальным расположением окружающих ее горных хребтов, большой амплитудой высот между урезом озера и высокогорьями горных хребтов и, наконец, большой водной массой озера, которая медленно нагревается и охлаждается [Буфал, 1966; Башалханова, 1989].

Большая водная масса озера Байкала в осенний и зимний период оказывает обогревающее воздействие на прилегающие территории котловины, в летний и весенний – охлаждающее. В результате этого весной начало вегетационного периода задерживается в Прибайкалье почти на 2 недели, а на низких террасах Байкала, особенно восточного побережья, формируется в растительности «ложно-подгольцовый пояс» в составе которого преобладают растения, свойственные высокогорным частям окружающих озеро горных хребтов - заросли кедрового стланика и низкорослые лиственничники с багульником, брусникой и другими кустарничками. Здесь также широко распространены представители альпийской флоры, такие как кипрей широколистный (*Chamerion latifolium*), береза круглолистная (*Betula rotundifolia*) и тощая (*Betula exilis*), смородина душистая (*Ribes fragrans*), плаун альпийский (*Diphasiastrum alpinum*), гольцовый лишайник алектория бледно-желтая (*Alectoria ochroleuca*).

Зимой озеро Байкал долго не замерзает, обычно до середины января, обеспечивая обогревающее воздействие на побережья. Воздействие на климат сопредельных территорий ограничивает замкнутость межгорной котловины озера Байкал.

Согласно многочисленным исследованиям в последние десятилетия происходят значительные изменения климата как в глобальном, так и в

региональном масштабах [МГЭИК, 2014]. Гидроклиматические изменения на территории Байкальского региона характеризуются устойчивым ростом годовых температур воздуха со скоростью 0,2–0,5 °С/10 лет, это на порядок превышает аналогичные коэффициенты, рассчитанные в среднем для Северного полушария [Гидроклиматические..., 2013]. На фоне потепления отмечается уменьшение континентальности климата за счет уменьшения годовых амплитуд температуры. Преобладают тенденции к уменьшению осадков. Наибольшее количество значимых трендов отмечено в суммах осадков за холодный период года (октябрь–апрель) с максимумом в декабре.

**Почвы.** Сложные и многообразные природные условия, уникальное сочетание факторов почвообразования определили большое разнообразие почвенного покрова Байкальской Сибири [Горшенин, 1948; Мартынов, 1965; Горбачев, 1978; Пешкова, 1985; Кузьмин, 1976, 2007, Копосов, 1983; Краснощеков, 1987; Цыбжитов, Убугунова, 1992].

Для почвенного покрова Байкальской Сибири выделяется ряд общих свойств. К ним относятся специфические условия формирования, особенности состава горных пород, жесткие климатические условия, легкий гранулометрический состав, невысокое содержание гумуса в верхних горизонтах, разнообразные физико-химические свойства, зависящие от состава и свойств почвообразующих пород [Горшенин, 1948; Мартынов, 1965; Горбачев, 1978; Убугунов и др., 2018].

Специфичность почв в Байкальской Сибири определяется такими условиями как резкое различие между сухими сезонами и сезонами наибольшего увлажнения [Ногина, 1964]; в условиях холмисто-увалистого рельефа начинает проявляться четкая дифференциация ландшафтов [Кузьмин, 1976; 2007]. Распределение почв соответствует закону почвенной зональности, особенность проявляется в значительных колебаниях высот, ориентации горных хребтов, удаленности территории от больших водных бассейнов, исключение составляют территории, приближенные к озеру Байкалу.

Горный рельеф территории оказывает влияние на распределение и интеграцию питательных элементов почв, активность процессов

трансформации вещества и энергии, определяет неоднородный характер увлажнения, перераспределение первичных и глинистых минералов [Владыченский, 1998].

В межгорных понижениях Байкальской Сибири имеют распространение аллювиальные, заболоченные и болотные, луговые, дерновые и лесные, черноземные, а также засоленные почвы (солонцы и солончаки). Под пологом леса формируются бурые, дерново-подзолистые и серые лесные почвы.

В верхнем поясе гор (1600-200 м над у.м) формируются органогенно-щебнистые примитивные почвы на сильно каменистых субстратах под моховой, кустарничково-моховой и стланиковой растительностью. Отличаются провальной водопроницаемостью и малой влагоемкостью.

Почвы горно-таежных ландшафтов (Баргузинский, Байкальский хребты, Восточный Саян) в генетическом отношении не имеют аналогов, т.к. развиваются в холодных климатических условиях, часто на многолетней мерзлоте и являются местами распространения эндемичных почвенных типов - горных почв [Лопатовская, 2011].

Горно-луговые почвы занимают в Байкальской Сибири небольшие площади, исключение составляют хребты Баргузинский и Хамар-Дабан, где вследствие влияния водной массы Байкала на климат прибрежной территории, горно-луговые почвы получили относительно широкое развитие. Почвенный профиль горно-луговых почв характеризуется плотнодерновинным гумусовым горизонтом темно-бурого, серовато-коричневого цвета.

Многие почвы из-за наличия мерзлого горизонта называют мерзлотными, в большинстве случаев они распространены на севере Байкальской Сибири. В лиственничных редколесьях они представлены типом горных мерзлотно-таежных почв с мощными толщами многолетнемерзлых пород.

Немерзлотный ряд почв имеет распространение в верхних частях лесного и частично в подгольцовом поясах, на склонах южной экспозиции, под лиственничными редколесьями с напочвенным покровом из лишайников и мезофильных мхов. Отличительной особенностью таких почв является

сплошное ожелезнение поверхностного горизонта, обилие щебня, малая мощность, отсутствие явных признаков оподзоливания. В гольцовом поясе под сухими лишайниковыми, кустарничково- лишайниковыми и щебнистыми лишайниковыми тундрами формируются горные тундровые оподзоленные почвы. Развитию горно-тундровых дерново-перегнойных глеевых почв способствует сезонное переувлажнение.

В светлохвойной тайге встречаются мерзлотно-таежные и горные перегнойные почвы. В строении почвенного профиля встречаются следы мерзлотных явлений (сортировка крупнозернистого материала, перемещение почвенных масс, трещиноватость).

На водораздельных поверхностях и некрутых северных и северо-западных склонах хребтов, конечных моренных холмах, на элювиальных, элювиально- делювиальных отложениях под темнохвойными, сосновыми, елово- лиственничными лесами с хорошо выраженным кустарничково-моховым покровом формируются подзолистые почвы [Николаев, 1949]. Подзолистые почвы в Байкальской Сибири отличают следующие особенности: малая мощность толщи, охваченной оподзоливанием, высокая миграция железа и резкая дифференциация профиля по его содержанию [Лопатовская, 2011]. Низкие температуры короткого теплого периода приводят к замедленным темпам биохимических процессов, слабой гумификации. В строении почвенного профиля выделяются различные по морфологическим и физико- химическим свойствам горизонты: органогенный гумусово-аккумулятивный, элювиальный и иллювиальный.

Дерново-подзолистые почвы, формирующиеся под лесной растительностью с разнотравным, мохово- травяным и бруснично-травяным покровом на рыхлых четвертичных отложениях, приурочены к вершинам водоразделов, плоским поверхностям, высоким террасам.

Морфологический профиль дерново-подзолистых почв резко дифференцированный. Основной особенностью является высокая степень аккумуляции перегноя и обменных оснований в верхних частях профиля, значительное содержание первичных минералов, слабокислая и нейтральная

реакция.

Подбуры распространены на склонах хребтов, террасах и равнинах, сложенных песками, под сосновыми и лиственнично-сосновыми рододендроновыми лишайниковыми лесами на крупнозернистых песках различного генезиса. Подбуры имеют недифференцированный или слабо дифференцированный профиль, в которых отсутствуют процессы оподзоливания.

В почвенном покрове лесного пояса гор распространены буроземы, или бурые лесные почвы, образующиеся только в условиях при непромерзающем температурном и промывном водном режимах под покровом лесов на сухих и хорошо прогреваемых местоположениях [Владыченский, 1998]. Характерной особенностью буроземов является слабая дифференциация на генетические горизонты, бурая окраска почти по всему профилю за счет присутствия соединений железа, наличие песка разной степени зернистости. Для данных почв характерны высокая биологическая активность и быстрый темп разложения растительных остатков, наземный опад мощный, характерны миграция элементов за пределы почвенного профиля и выщелоченность в условиях промывного водного режима, отсутствие засоления, интенсивное физико-химическое выветривание исходного материала, оглеение почвенного профиля за счет физического дробления песчаных и пылеватых частиц, процессы трансформации соединений железа.

В бассейне р. Ангары, в пределах южной тайги и лесостепи широко представлены дерново-карбонатные почвы. Данный тип почв генетически связан с дерновыми лесными и дерново-подзолистыми почвами. Формирование происходит на водораздельных и склоновых поверхностях под светлохвойными лесами с травяным покровом. Почвообразующие породы элювиальные, элювиально-делювиальные и делювиальные. Распределение дерново-карбонатных почв имеет зависимость от экспозиции склонов, так на южных склонах наиболее распространены дерново-карбонатные типичные почвы, а на северных склонах и водоразделах - оподзоленные.

Профиль дерново-кабонатных почв короткий, слабо дифференцирован

на горизонты. Подзолообразовательному процессу препятствует насыщенность пород карбонатами, слабое выветривание из-за малого количества осадков и позднее оттаивание. В почвах встречается гипс, появившийся в результате выветривания гипсоносных кембрийских и третичных пород.

Серые лесные почвы орографически приурочены к средним частям склонов, микропонижениям рельефа. Данные почвы формируются под сосновыми, лиственнично-сосновыми, изреженными светлохвойными вторичными мелколиственными травянистыми лесами на четвертичных отложениях, генетически связанных с юрскими породами.

Светло-серые лесные почвы формируются на пологих склонах водоразделов, в вершинах падей и распадков, под березово-осиновыми лесами, кустарником и низкотравьем на элювиальных, элювиально-делювиальных и делювиальных отложениях.

Темно-серые лесные почвы располагаются по нижним частям склонов, на нижних частях водоразделов, в сухих падах, распадках, логах под изреженными березовыми лесами с густым травяным покровом на юрских и кембрийских породах. Подстилающие отложения - элювиальные, элювиально-делювиальные, делювиальные суглинки.

Черноземы широко распространены на древних террасах рек, пологих южных склонах коренных берегов под покровом луговой и степной ковыльно-разнотравной растительности на юрских и кембрийских полого залегающих породах. Почвообразующие породы - лессовидные суглинки буровато-палевого цвета различного происхождения, обогащенные карбонатами кальция и магния.

Лугово-черноземные почвы располагаются по днищам ложбин, падей, логов временных водотоков, в подсклоновых депрессиях и надпойменных террасах под настоящими или остепенёнными злаково-разнотравными лугами. Лугово-черноземные почвы – полугидроморфные, формируются при периодическом поверхностном увлажнении и глубоких почвенно-грунтовых водах.

Каштановые почвы формируются на карбонатных или гипсоносных отложениях под сухой степной растительностью, подвержены частым засухам. Имеют широкое распространение в предгорных сухих степях Приольхонья и о. Ольхон, крайнем юге Даурии [Ногина, 1964; Цыбикдоржиев и др., 2009].

В местах повышенного увлажнения по днищам падей, окраинам болот при близком залегании грунтовых вод к поверхности формируются луговые почвы под луговой растительностью: луговыми злаками, осоками, мезофильным разнотравьем с кустарниковыми зарослями. В нижней части почвенного профиля встречается оглеение. Выделяются почвы, расположенные на аллювиальных, аллювиально-делювиальных и гажевых (гипсоносных) отложениях [Лопатовская, Михайличенко, 2002].

В лесостепной зоне в понижениях на плоских равнинах и по террасам рек на участках с близким залеганием грунтовых вод и карбонатными почвообразующими породами или под влиянием жестких грунтовых вод формируются лугово-болотные почвы под лугово-болотной и болотной растительностью (осоки, ситники, тростник и пр.). Данный тип почвы характеризуются ясным оглеением всего профиля и отсутствием или малой мощностью (менее 20 см) торфяного горизонта, что отделяет их от болотных торфяных почв [Цыбикдоржиев и др., 2009].

В самых пониженных элементах рельефа в верховьях мелких и средних рек, ручьев, славодренированных западинах и прирусловых частях речных долин, по днищам падей распространены болотные почвы под мохово-осоковыми ассоциациями с небольшой примесью разнотравья, осок, пушицы, вейников. Из-за низкой скорости разложения растительных остатков образуются торфяные залежи мощностью 0,5-4 м. Подстилающими отложениями служат аллювиальные, аллювиально-пролювиальные и редко делювиальные отложения супесчаного, суглинистого и глинистого состава.

На притеррасных участках долин рек, в понижениях центральной и прирусловой поймы распространены аллювиальные почвы, формирующиеся под лугово-болотной растительностью. Характерны для дельт р. Селенги, р. Верхней Ангары и на равнинных участках, примыкающих непосредственно к

берегу озера Байкала. Почвообразующими породами служат слоистые и неясно слоистые аллювиальные, аллювиально-пролювиальные и делювиальные отложения преимущественно тяжелого механического состава, изредка супеси с мелким гравием и галькой. В почвенном профиле отсутствуют ясно выраженные генетические горизонты вследствие периодического затопления и смены речных наносов.

Солончаки, солонцы, солоди образуют группу интразональных засоленных почв, встречаются отдельными пятнами и имеют небольшие площади. Солончаки содержат в поверхностном слое более 1 % водорастворимых солей, что в большинстве случаев обусловлено неглубоким залеганием минерализованных грунтовых вод, или с глубинными минеральными водами, поступающими по геологическим разломам. Солонцы формируются главным образом при рассолении солончаков. В Байкальской Сибири данные почвы распространены в сухих Тажеранских степях, в Баргузинской и Оронгойской долинах. Солоди, развивающиеся в основном при рассолении и рассолонцевании солонцов в условиях повышенного поверхностного увлажнения, встречаются в плоских замкнутых «мокрых» понижениях среди почв степи и лесостепи.

**Растительность.** В целом суровые климатические условия Байкальской Сибири определяют напряженный характер биотических процессов на этой территории. Все это проявляется как в смене доминирующих пород в составе господствующей на этой территории таежной растительности геосистем, в изменении ее структурных и физиономических черт, так и в большой пестроте и контрастности растительных сообществ, развивающихся в непосредственном контакте друг с другом.

Последнее обстоятельство связано не только с естественной пестротой почвенно-растительных условий в Байкальской Сибири, обусловленной преимущественно горным характером рельефа, но и в большой степени с замедленностью восстановительных процессов, развивающихся в геосистемах после антропогенных нарушений. Низкая скорость восстановления и соответственно слабая антропогенная устойчивость растительности геосистем



напрямую связана с суровыми условиями ее произрастания. В результате, периодически повторяющиеся антропогенные воздействия, нарушая восстановительные процессы, создают еще большую пестроту производных сообществ.

Пестроту растительных условий обуславливает большая расчлененность рельефа Байкальской Сибири и это влияние прослеживается не только в ослаблении подзонально-широтных закономерностей в структуре растительности геосистем и в формировании широких экотонных полос с взаимным проникновением по склонам различных экспозиций растительных сообществ соседних подзон, но и в развитии высотной поясности в растительности горных хребтов [Белов, 2003]. При этом структура вертикальной поясности растительности геосистем имеет сильные различия в зависимости от общей ориентации макросклонов горных хребтов по отношению к основным атмосферным потокам, приносящим осадки в Байкальскую Сибирь.

Современная растительность Байкальской Сибири представлена большим разнообразием растительных сообществ. Доминируют сообщества бореального (таежного), тундрового, степного, а также в небольшой степени альпийского и неморального типов растительности [Пешкова, 1985, 2001; Щербина, 1999].

Растительность бореального типа распространена практически повсеместно - встречается на равнинах и плато Средней Сибири, в горах Предбайкалья и Забайкалья, на равнинах и плато Приленья, на равнинах и в бассейне верхнего течения Амура.

В целом, в Байкальской Сибири абсолютно доминирует таежно-лесная растительность с преобладанием в основном пологом древостоев светлохвойных пород лиственницы (лиственниц сибирской (*Larix sibirica*) и даурской (*Larix dahurica*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), что свидетельствует о суровости природно-климатических условий.

Преобладают спелые и перестойные хвойные леса - темнохвойные из пихты сибирской (*Abies sibirica*), кедра сибирского (*Pinus sibirica*) и ели

сибирской (*Picea obovata*) и светлохвойные, образованные лиственницами сибирской и даурской, сосной обыкновенной. Мелколиственные березовые и осиновые леса представляют собой преимущественно производные сообщества, возникшие на месте хвойных лесов после лесных пожаров и рубок.

Темнохвойные леса - пихтовые, еловые и кедровые, как правило, полидоминантны. Елово-пихтовые и кедрово-пихтовые леса занимают значительные площади в Нижнем Приангарье, где приурочены к возвышенным водоразделам с дерновыми и дерново-подзолистыми почвами [Белов, 2003]. В горах Прибайкалья и в Восточном Саяне кедрово-пихтовые и пихтово-кедровые леса занимают по большей части горных склонов, предпочитающие каменистые дерново-подзолистые почвы с повышенным увлажнением. Кедровые леса обычно распространены на местоположениях с повышенной влажностью воздуха и пониженной теплообеспеченностью.

Еловые леса в Байкальской Сибири распространены практически повсеместно, но не образуя больших массивов. Обычно, узкими полосами, часто прерывистого характера, они приурочены к хорошо увлажненным долинам рек, но встречаются и на заболоченных почвах. Под ельниками в Забайкалье встречаются мерзлотные почвы.

Значительные пространства в районе Среднего Приангарья, на Ангаро-Ленском междуречье и на Приленском плато занимают сосновые леса. Они распространены на водораздельных пространствах террас рек и склонах южной экспозиции, сложенных легкими легкосуглинистыми или супесчаными отложениями. Сосновые леса занимают самые теплые местообитания, например, в Забайкалье именно сосновые леса образуют зону контакта со степными сообществами, часто образуя остепненно-травяные редкостойные сосняки.

Лиственничные леса занимают в Байкальской Сибири самые обширные площади. Основные массивы лиственничников расположены в бассейнах рек Подкаменной и Нижней Тунгусок, в верховьях реки Лены, в Северном и Восточном Забайкалье. В сложении лиственничных лесов участвуют два вида

лиственницы - сибирская и даурская (Гмелина). Зона их разграничения проходит от северной оконечности Байкала на север в бассейн среднего течения Нижней Тунгуски [Белов, 2003]. К западу от этой зоны доминируют лиственничники из лиственницы сибирской, к востоку - из лиственницы даурская. В полосе смыкания их ареалов произрастает лиственница Чекановского (*Larix czekanovskii*) - сборный вид, представляющий собой смесь гибридных популяций, указанных выше двух видов лиственницы.

Лиственничные леса встречаются как на равнинах и невысоких плато, так и в долинах рек, и на горных склонах разной экспозиции, приуроченные, в основном, к мерзлотно-таежным и подзолистым тяжелым почвам с мерзлотой. При этом более теплые и сухие местообитания предпочитают леса из лиственницы сибирской.

В Северном и Восточном Забайкалье лиственница занимает абсолютно господствующее положение в растительности гор, поднимаясь от нижнего пояса, контактируя со степями до верхней границы леса, образуя обширные массивы лиственничных редколесий.

В целом, пространственная структура таежной растительности Байкальской Сибири подчиняется общим закономерностям широтной поясности на плоских возвышенных равнинах и плато Средней Сибири и Южной Якутии [Попов, 1961, 1982, 1997]. Местами такая закономерность осложнена проявлениями, связанными с сильным расчленением рельефа. В горах и межгорных котловинах четко прослеживается вертикальная поясность растительности.

В горных системах Юга Сибири выделяются четыре типа вертикальной поясности растительности: 1) Саяно-Байкальский влажный с преобладанием в горно-таежном поясе темнохвойных кедровых или кедрово-пихтовых лесов; 2) Прибайкальский сухой с преобладанием светлохвойных лесов в горно-таежном поясе; 3) Восточно-Забайкальский континентальный, где в нижнем поясе леса контактируют со степными сообществами, а темнохвойные леса в виде высотного пояса отсутствуют полностью; 4) Западно-Забайкальский тип поясности занимает промежуточное положение и относится к Саяно-

Тувинско-Забайкальской группе типов поясности бореального класса [Огуреева, 1983; Безделова, Огуреева, 1986].

Тундровая растительность в Байкальской Сибири представлена одним классом формаций горных тундр, сообщества которых широко распространены в высокогорно-гольцовой зоне горных хребтов Восточного Саяна, Прибайкалья и Станового нагорья. Предыдущие исследования показали высокую роль в формировании горных тундр Восточного Саяна и южных хребтов Прибайкалья автохтонного Алтае-Саянского флорогенетического комплекса [Малышев, 1965]. Высокогорья хребтов Байкало-Патомского и Станового нагорий служили грандиозным мостом, по которому проходил сложный флористический обмен между горными тундрами юга и северо-востока Сибири [Малышев, 1972].

В высокогорьях Восточного Саяна и части Прибайкальских хребтов (Хамар-Дабан, Байкальский и др.) получающих большое количество зимних осадков развиваются красочные низкотравные альпинотипные и высокотравные субльпинотипные луга [Белов, 2003]. Высокогорные луга занимают незначительные площади, но образуют сложные сочетания с парковыми редколесьями и горными тундрами.

Как известно, верхняя граница лесной растительности в высокогорьях колеблется в зависимости от увлажненности макросклона, например, во влажном климате в Восточном Саяне и Хамар-Дабане граница лесной растительности проходит на высоте 1700-2100 м над у.м., а в хребтах Северного Забайкалья - 1100-1300 м над у.м. В Байкальской котловине из-за охлаждающего влияния водной массы озера Байкала граница лесной растительности снижается до 800-1000 м над у.м.

Степная растительность в Байкальской Сибири представлена в основном в южных районах региона. В Предбайкалье, на восточной окраине Иркутско-Черемховской подгорной равнины встречаются небольшие массивы степей, по своему характеру и флористическому составу тяготеющие к степям Западной Сибири [Пешкова, 1962, 2001]. На данной территории распространены разнотравно-луговые степи, по большей части, распаханые.

В Южном Забайкалье по днищам широких межгорных котловин степи занимают более значительные площади, а в восточных районах они выходят на низкие водоразделы. Степи представлены, в основном, мелкозлаковыми и полынными сообществами, а также обогащены мезофильным разнотравьем лесного генезиса.

Распределение степных и лесных сообществ в котловинах Предбайкалья и Забайкалья, как уже отмечалось, в значительной степени контролируется экспозицией склонов. Хорошо прогреваемые южные склоны заняты степями, а лесные сообщества располагаются на восточных и северных склонах. Такая «экспозиционная» лесостепь часто образует нижний пояс горной растительности.

Слабее всего в растительности Байкальской Сибири представлена неморальная растительность. Северные макросклоны Хамар-Дабана и Восточного Саяна, Присяянья, имеющие высокую влагообеспеченность, являются основными рефугиумами третичных реликтов неморальной флоры. Во флоре Байкальской Сибири отмечено 253 реликтовых вида высших растений (83 вида мохообразных и 170 видов сосудистых растений [Казановский и др., 2008].

Реликтам во флоре высших растений Сибири посвящены работы в основном о реликтах широколиственных лесов [Епова, 1956, 1960; Малышев, 1957, 1961; Водопьянова, 1961; Бардунов, 1963; Пешкова, 1972; Киселева, 1978; Положий, Крапивкина, 1985, Киселева и др., 1999].

Значительное число реликтовых видов в степной флоре выявлено Г.А. Пешковой [1972, 2001] в островных степях Байкальской Сибири.

Неморальная растительность более выражена в районах контакта Байкальской Сибири с районами Дальнего Востока, где последняя развивается автохтонно с незначительными изменениями с конца третичного периода [Сочава, 1946; Криштофович, 1958]. Здесь встречаются ильм мелколистный (*Ulmus parvifolia*) (рисунок 2.1), ильм японский (*Ulmus japonica*) (рисунок 2.2), береза черная (даурская) (*Betula dahurica*), дуб монгольский (*Quercus mongolica*), абрикос (*Prunus sibirica*) (рисунок 2.3) и т.д.



Рисунок 2.1. Ильм мелколистный (*Ulmus parvifolia*)



Рисунок 2.2. Ильм японский (*Ulmus japonica*) в долине р. Селенга



Рисунок 2.3. Абрикос сибирский (*Prunus sibirica*)

Таким образом, коренные сообщества современной растительности геосистем наиболее полно соответствуют природно-климатическим условиям настоящего времени, и в то же время в их составе сохранились элементы растительности прошлых этапов развития в виде реликтовых сообществ, сообществ рефугиальных зон, сообществ с реликтовыми растениями, сообществ с полигенетической структурой, сообществ с редкими растениями, находящимися на границах своих ареалов и т.д.

## **2.2. Эволюция природного процесса в Байкальской Сибири в позднем кайнозое**

Ландшафтная сфера и вся составляющая ее иерархия геосистем формировалась в процессе своего исторического развития. Процесс эволюции ландшафтной оболочки, который представляется как смена одних инвариантов геосистем другими, на протяжении геологических периодов шел в определенном направлении в результате саморазвития геосистем и воздействия на них изменяющихся внешних условий [Сочава, 1978]. Инвариант геосистемы – «в основе этого понятия лежит представления о совокупности присущих геосистеме свойств, которые сохраняются

неизменными при преобразовании той или иной категории геосистем. Инвариант геосистемы оказывается общим для составляющих ее более мелких подразделений (пример: признаки геома, сохраняющиеся во всех классах фаций). Инвариантными являются свойства геосистемы (любого ранга), остающиеся практически неизменными в процессе трансформации под влиянием внешних воздействий. Каждый из инвариантов в конце концов подвергается преобразованиям, но не в порядке динамики, а в процессе эволюционного развития природной среды» [Сочава, 1978, с.293].

Сменяющие друг друга инварианты демонстрируют собой этапы эволюционного процесса. На всем протяжении эволюции сами инварианты представляются множествами переменных состояний, каждое из которых рассматривается как временное преобразование инварианта (основной категории, на определенном отрезке эволюции, остающейся относительно неизменной).

Эволюцию природного процесса в позднем кайнозое необходимо рассматривать как основу формирования природного экологического потенциала геосистем. Сложная ландшафтная структура Байкальской Сибири, с довольно четкими провинциальными его чертами, вызванными региональными особенностями рельефа и климата, формировалась на протяжении своего исторического развития.

Плиоцен-эоплейстоценовый этап в развитии геосистем на территории Байкальской Сибири проходил в условиях, как было рассмотрено выше, нестабильного тектонического режима [Флоренсов, 1960; Воскресенский, 1962; Логачев и др., 1964; Цейтлин, 1964; Равский, 1972; Адаменко и др., 1971; Девяткин, 1981; Мац, Уфимцев, Мандельбаум, 2001; Ербаева, Карасев, Алексеева, 2005] и развивающегося изменения климата [Равский, Алексеев, 1960; Сеницын, 1965; Волкова, Баранова, 1980; Волкова, Вотах, Белова, 1984, Карабанов и др., 2001; Кузьмин и др., 2001].

Плиоцен (5,33-2,58 млн. лет назад) [Gibbard et al., 2010] совершенно справедливо рассматривается как один из важнейших этапов формирования видов современных лесной (таежной) и степной бореальной флоры



[Толмачев, 1954; Белова, 1985]. В раннем плиоцене растительность была еще неморального типа, но обедненного состава. На юге региона она была представлена ильмом (*Ulmus*), орехом (*Juglans*), грабом (*Carpinus*), липой (*Tilia*), дубом (*Quercus*), кленом (*Acer*), а на севере, где их разнообразие было еще меньше, – гикори (*Carya*), орех, дуб [Калмыков, 2016].

В среднем и позднем плейстоцене почти полностью выпадают широколиственные элементы из горно-таежных лесов, на юге отмечаются единичные ильм, орех и липа. Из хвойных в регионе начинают доминировать пихта сибирская (*Abies sibirica*), ель сибирская (*Picea obovata*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), а умеренные широколиственные представлены дубом монгольским (*Quercus mongolica*), лещиной разнолистной (*Corylus heterophylla*), липой амурской (*Tilia amurensis*), а на юге - вязом приземистым (*Ulmus pumila*) [Белова, 1985].

Эволюционное формирование структуры геосистем региона этого периода проходит дифференцировано, в соответствии с формирующимися геологическими структурами. На высоких плато средней части Приангарья в структуре геосистем ведущим является зональный фактор. Доминирующими здесь являются хвойно-широколиственные травяные геосистемы южнотаежного характера. В южных районах формируются лесостепные и степные геосистемы. В горных хребтах Прибайкалья и Восточном Саяне, испытавших значительное поднятие, формирование структуры геосистем определялось высотно-поясным фактором. В горно-таежном поясе уже доминировали темнохвойные геосистемы, выше которых начали формироваться гольцовые альпинотипно-горно-тундровые геосистемы. В структуре растительности геосистем отмечается появление кедрового стланика (*Pinus pumila*) и группы ерниковых берез [Белова, 1985; Белов, Безрукова, Соколова и др., 2006]. Зональный и высотно-поясной факторы формирования пространственной структуры геосистем с этого времени остаются ведущими на протяжении последующих этапов эволюции, вплоть до настоящего времени.

Плейстоценовая эпоха (2,58 млн. лет назад - 12-11,7 тыс. лет назад) с ее

резкой активизацией горообразовательных процессов в Байкальской рифтовой зоне и глубокими глобальными циклическими изменениями климата, характеризовавшихся чередованием ледниковых и межледниковых периодов, стала временем дальнейшего развития высотно-поясной структуры геосистем в горных хребтах Прибайкалья и Южной Сибири. В ряде районов Байкальской Сибири получило развитие оледенение, определяемое климатическими и орографическими факторами. Однако, стоит заметить, что большая часть Среднесибирского плоскогорья не была подвержена оледенению, а в горах Южной Сибири оледенение характеризовалось горно-долинным распространением [Флоренсов, Олюнин, 1965].

В конце эоплейстоцена в растительности геосистем Байкальской Сибири доминировали субнеморальные сообщества - леса в составе, которых преобладали ель, кедр, пихта, сосна и лиственница, а в горах тсуга, с участием широколиственных пород (дуб, орех, граб, липа), распространившиеся до широты нижнего течения Нижней Тунгуски [Цейтлин, 1964; Исаева, 1972; Белова, 1985]. В среднем плиоцене на юге Прибайкалья и Забайкалья в следствие сильной аридизации климата были представлены, в основном, степные и лесостепные геосистемы.

Для плейстоцена характерны две волны мощного оледенения: зырянское (74 - 60 тыс. лет назад) и сарганское (27,4 тыс. - 12,4 тыс. лет назад) [Позднечетвертичные растительность..., 2002; Галанин, 2012]. Зырянский холодный (ледниковый) этап приблизительно соответствует ранневалдайскому или калининскому оледенению [Развитие ландшафтов..., 1993]. В периоды оледенения наиболее сильно пострадало биологическое разнообразие растительности геосистем, например, исчезли такие виды теплолюбивых древесных растений, как дуб, клен, бук, орех, лещина. Между оледенениями наблюдалось два межледниковых периода: казанцевский (130-80 тыс. лет назад) и каргинский (60 - 27,4 тыс. лет назад) [Позднечетвертичные растительность..., 2002, с. 31]. Казанцевский межледниковый период соответствует микулинскому межледниковью Русской равнины. Каргинский теплый этап сопоставим со средневалдайским

мегаинтерстадиалом. Этапы потепления длились с несколько более продолжительными периодами, чем собственно этапы оледенения. Все эти или аналогичные им этапы позднего плейстоцена прослеживаются на всей территории Байкальской Сибири, но степень их выраженности и обоснованность выделения различны в пределах разных районов региона. Исходя из литературных данных [Думитрашко, 1953, Савина, 1982, Белова, 1985], в межледниковые периоды растительность уже не могла в полной мере восстановиться после суровых похолоданий предыдущего периода, но небольшие изменения в сторону восстановления лесного типа растительности геосистем все же происходили.

Необходимо подчеркнуть, что для большей части Байкальской Сибири, как внеледниковой, изменения в геосистемах не имели катастрофического характера, подтверждаемое споро-пыльцевым анализом лесных или полулесных комплексов того времени [Боярская, Малаева, 1967; Белова, 1985]. В тоже время на севере происходит формирование гипоарктических [Юрцев, 1966] и тундровых [Толмачев, 1958; 1975] флористических комплексов, а в горах Южной Сибири - развитие горных тундр и зарослей кедрового стланика [Белов и др., 2006].

В межледниковые периоды для большинства районов Байкальской Сибири проходило быстрое восстановление бореальных структур растительности, характерно широкое распространение темнохвойной тайги бореального и субнеморального облика. В центральных и южных Средней Сибири, а также в горах Южной Сибири, каргинское межледниковье отмечается динамичным развитием темнохвойно-таежных геосистем [Равский и др., 1964; Боярская, Малаева, 1967; Филимонова, 1973; Исаева и др., 1980; Белов, Белова, 1984; Белова, 1985, Белов и др., 2006].

В более континентальных районах, например, в бассейне реки Нижней Тунгуски, получили распространение геосистемы с лиственничными, лиственнично-сосновыми, еловыми с березой лесами [Цейтлин, 1964; Исаева, 1972; Кинд, 1974]. Необходимо обратить внимание, что в лесах господствовала лиственница сибирская, в настоящее время замещенная

лиственницей даурской (Гмелина), а редколесья из ели, кедра, сосны и березы вместе с тундровыми сообществами достигали морского побережья.

Последовавшее после сартанское оледенение имело общее ухудшение климата, вызвавшее в горах Южной Сибири появление ледников. Сартанское оледенение испытало бореальную флору Байкальской Сибири на выживаемость. Бореальные лесные виды снова укрылись в рефугиумах или образовывали субарктические редколесья на плато в комплексе с ерниковыми зарослями.

На юге в аридных районах Байкальской Сибири усиление континентальности климата выразилось в усилении процессов опустынивания, таких как: сокращение поверхностного стока, замещение лесных геосистем степными и лесостепными. Монгольская степная флора распространялась по сквозным горным и речным долинам в области, в будущем занимаемыми обширными степными пространствами. В то же время интенсивное развитие мерзлоты [Величко, 1973] привело к распространению в восточных районах лесов и редколесий из лиственницы даурской (Гмелина) [Никитин, 1979].

Голоценовый период (11,7 тыс. лет назад - настоящее время) - этап становления современных геосистем. В традиционной европейской схеме голоцена Блитта-Сернандера выделяются пять стадий изменения климата: 11,7 - 10,6 тыс. лет назад - пребореал, 10,5 - 8,9 тыс. лет назад - бореал, 8,9-5,7 тыс. лет назад - атлантик, 5,7 - 2,6 тыс. лет назад - суббореал, 2,6 тыс. лет назад - современность - субатлантик [Roberts, 1998]. Однако, в настоящее время ученые предпочитают оперировать трехчленным делением природной среды голоцена: 11,7 - 8,0 тыс. лет назад - ранний, 8,0 - 2,5 тыс. лет назад - средний, последние 2,5 тыс. лет назад - поздний голоцен [Roberts, 1998].

В период голоцена выделяется несколько фаз потепления и похолодания климата, с отнесением климатического оптимума к среднему голоцену [Равский, 1972; Величко. 1973; Кинд, 1974; Хотинский, 1977; Белов, Белова 1984; Белова, 1975, 1985; Безрукова, 1999; Белов, Безрукова, 2010, 2013; Bezrukova et al., 2008; и др]. На территории Северной Евразии

оптимум голоцена имел место около 11-7 тыс. лет назад, и трактуется как результат высокой солнечной инсоляции, потепления в северной Атлантике и завершения распада Скандинавского ледникового щита [Velichko, Andreev, Klimanov, 1997; MacDonald et al., 2000]. Например, климатический оптимум голоцена на севере Тибетского Плато датируется от 8 до 5 тыс. лет назад и отмечается высоким эффективным почвенным увлажнением в связи с таянием снега и ледников [Xiaoqiang et al., 2004]. Таким образом, в большей части районов умеренных широт Северного полушария оптимум голоцена отмечается высокой степенью увлажнения климата и менее выраженной континентальностью.

Голоцен отметился активизацией тектонических процессов и формирования альпинотипного рельефа Хамар-Дабана, Кодара и других хребтов Байкальской Сибири.

Геосистемы Байкальской Сибири на протяжении голоцена испытали три крупных периода изменения климата: 11,7 - 9,5 тыс. лет назад - низкое атмосферное увлажнение и соответствующие более низким, современным ходам атмосферных осадков, средней температуры зимних и летних сезонов, а также преобладание лесотундровых ландшафтов; 9,5 - 6,5 тыс. лет назад - наиболее благоприятные условия для развития таежных темнохвойных геосистем (с доминированием пихты) с максимально высокой за весь голоценовый период среднегодовой суммой атмосферных осадков и самой высокой средней температурой зимних сезонов; 6,5 тыс. лет назад до современных дней - снижение климатических параметров по сравнению с предыдущим периодом, преобладание светлохвойных геосистем [Безрукова и др., 2014; Demske et al., 2005; Tarasov et al., 2007, 2009; Bezrukova et al., 2010].

Одним из существенных моментов является изменение количества и соотношения темнохвойных пород в составе растительности геосистем Байкальской Сибири. Так, начиная с раннего голоцена начинается активное расселение ели и кедра, а позднее и пихты. Наиболее широкого распространения темнохвойные геосистемы достигли в среднем голоцене. Именно в этот временной период стали более отчетливо оформляться

современные провинциально-географические особенности ландшафтной структуры Байкальской Сибири.

На Заангарском, Центрально-Тунгусском и Приленском плато в атлантическое время происходила смена северотаежных елово-лиственничных и лиственнично-сосновых бореальных геосистем среднетаежными елово-кедровыми геосистемами на западе и лиственничными с примесью ели кустарничково-моховыми на востоке.

Например, среднетаежные елово-кедровые геосистемы с лиственницей и пихтой в районе Приангарского и Лено-Ангарского плато в атлантическое время были замещены южнотаежными елово-пихтовыми, местами с липой, травяными геосистемами на западе и сосновыми и лиственнично-сосновыми с липой и дубом травяными геосистемами на востоке. На Иркутско-Черемховской равнине в бореальное время были распространены сосново-березовые геосистемы с фрагментами степей, а в атлантическое время здесь уже произрастали подтаежные лиственнично-сосновые и сосновые травяные геосистемы с ильмом, местами остепненные [Белов, 2003].

В горах Южной Сибири в бореальное время большинство площадей в высокогорьях хребтов занимали кустарничково-лишайниковые горно-тундровые геосистемы с фрагментами альпинотипных лугов, подгольцовых кустарников и редколесий. В Забайкалье в горнотаежном поясе основные площади были заняты лиственничными геосистемами с ерником и кедровым стлаником. В горных хребтах Южного Прибайкалья и на склонах Восточного Саяна преобладали елово-лиственничные и лиственнично-еловые с кедром кустарничково-моховые геосистемы.

В интервале времени между 7 - 6 тыс. лет назад в умеренных широтах Северного полушария началась тенденция постепенного и необратимого снижения влажности климата. Реконструкции среднегодовой температуры и атмосферных осадков (увлажненности) на всех континентах продемонстрировали постепенное и значительное уменьшение атмосферных осадков, увеличение индекса сухости одновременно с прогрессирующим похолоданием, возникнувшие около 6,5 - 6 тыс. лет назад [Wanner et al.,

2008]. Установлено, в частности, что на территории современной пустыни Сахары с 9 - 6 тыс. лет назад существовало так называемое «зеленое состояние», характеризующееся способностью выживания на данной территории растительности лесов и саванн, а также высоким уровнем атмосферных осадков, способствующих развитию ряда озер. Однако, в интервале времени от 6 - 4,3 тыс. лет назад наблюдалось практически четырехкратное снижение среднегодового количества атмосферных осадков (с 600 до 150 мм), современная гипераридная пустыня Сахара сформировалась около 2,7 тыс. лет назад [Kröpelin et al., 2008]. На территории Северной Европы в голоцене максимальные значения среднегодовой температуры приходятся на время около 8-5 тыс. лет назад и имели значительное снижение позднее [Seppe et al., 2009].

Оптимум, несомненно, приходится на атлантический период, что совпадает с голоценовым оптимумом в Европе. В атлантическое время в высокогорьях Байкальской Сибири широкое распространение получили тундровые кустарничково-моховые геосистемы с фрагментами альпинотипных лугов, зарослей подгольцовых кустарников и редколесий. Здесь же повсеместно развивались подгольцовые геосистемы с зарослями кедрового стланика, ольховника, на востоке березы Миддендорфа. В горах Северного Прибайкалья появились каменно-березовые травяные геосистемы в сочетании с еловыми редколесьями и зарослями подгольцовых кустарников.

Для горнотаежного пояса на северо-востоке региона было характерно преобладание елово-пихтовых и елово-кедровых с лиственницей и кедровым стлаником геосистемы. На юго-западе - елово-пихтовых и кедрово-еловых травяных геосистем.

В межгорных котловинах горно-котловинные сосновые и сосново-лиственничные кустарничково-травяные геосистемы бореального времени в атлантический период были замещены лесостепными геосистемами, представленными сосново-березовыми с примесью широколиственных пород и травяными степями.

В целом, можно сказать, что увеличение влажности и повышение температуры на территории Байкальской Сибири привели в атлантический период к относительному восстановлению зонально-подзональных и высотно-поясных структур таежно-лесной и степной бореальной растительности, с доминированием видов реликтов позднего плиоцена. Повсеместно широкое развитие получили бореальные, а позднее и субнеморальные леса с участием широколиственных пород - дуба, липы, вяза, а в южных районах - к распространению лесостепных и степных геосистем.

В суббореальное время произошло заметное изменение климатических условий, приведшее к исчезновению широколиственных пород из состава таежно-лесной растительности геосистем Байкальской Сибири, и перераспределению площадей, занятых темнохвойной и светлохвойной растительностью [Безрукова и др., 2014]. В более континентальных восточных районах, особенно, на равнинах Приленья, заметно сократилась доля участия кедра, ели и пихты в породном составе лесов [Попова, 1972; Шофман, Ревердатто, 1972]. Усилилась позиция лиственницы даурской и сосны обыкновенной.

Для западных и южных, особенно горных, районов Байкальской Сибири снижение температуры при достаточно высокой влажности воздушных масс привело к широкому распространению здесь кедровых и елово-кедровых геосистем. Это продолжалось и в течение субатлантического периода (2,6 тыс. лет назад - современность). В северных районах в это время произошло некоторое расширение ареала ели [Левковская и др., 1970].

Позднее 6 тыс. лет назад произошло масштабное изменение состава растительности геосистем Байкальской Сибири. В северо-восточном Прибайкалье до 6 тыс. лет назад доминировали темнохвойно-таежные геосистемы, позже ель и пихта замещались сосной обыкновенной, сосной сибирской и лиственницей [Bezrukova et al., 2008; Безрукова, Белов, 2013]. Эколого-эдафические требования новых элементов лесной растительности геосистем предполагают увеличение континентальности климата за счет



уменьшения количества атмосферных осадков, снижения средней температуры зимних сезонов и повышения летних.

Реконструкции климата и ландшафтов в Приольхонье по палеолимнологическим исследованиям донных отложений выявили доминирование в среднем голоцене таежных геосистем с преобладанием в составе лесной растительности темнохвойных древесных пород (сосна сибирская), около 5,1 тыс. лет назад вследствие существенной аридизации климата в среднем голоцене здесь началось распространение устойчивых к сухому климату сосновых лесов (сосна обыкновенная) [Maskau et al., 2012].

На противоположном, восточном борту Байкальской котловины, в Котокельской впадине, по результатам комплексного литолого-биостратиграфического анализ кернов донных отложений и торфяников было установлено резкое повышение обилия пыльцы сосны в спектрах около 7,2 тыс. лет назад [Безрукова, Белов, 2013], что означает начало экспансии сосновых лесов в этом районе (рисунок 2.4). Переход к преобладанию сосны и лиственницы в составе растительности геосистем совпадает с повышением континентальности климата в целом [Tarasov, Bezrukova, Krivonogov, 2009].

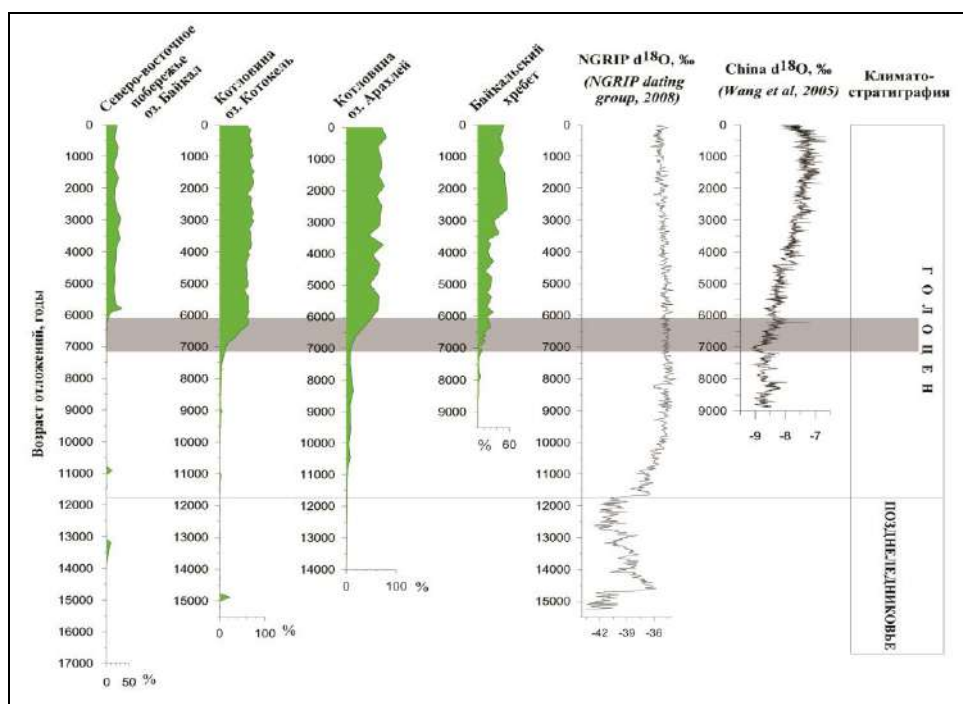


Рисунок 2.4. Обобщающая диаграмма, показывающая начало экспансии сосновых лесов (зеленый цвет) в разных районах Байкальской Сибири в сравнении с динамикой глобальной климатической системы,

отраженной в ледовых кернях Гренландии (NGRIP) и сталагмитах Китая (пещера Донгге). Горизонтальный прямоугольник серого цвета соответствует времени коренной перестройки ландшафтно-климатической системы Байкальского региона и северного полушария [Безрукова, Белов, 2013].

Понижение увлажненности при некотором повышении температуры воздуха обусловило характер современной структуры и динамических процессов в геосистемах Байкальской Сибири. Начало экспансии сосны совпадает с ее широким распространением по всей Сибири, что позволяет считать глобальное изменение климатической системы одной из основных причин изменчивости природной среды Байкальской Сибири.

Таковы в общих чертах этапы истории геосистем Байкальской Сибири, сформировавшие особенности их структурно-функциональных внутренних и внешних связей в ходе эволюционного развития природной среды на протяжении голоцена и определяющие их дальнейшее естественное развитие, что в значительной мере раскрывает эволюцию природного процесса как основу формирования природного экологического потенциала геосистем.

#### **2.4. Геосистемы Байкальской Сибири**

В учении о геосистемах В.Б. Сочавы, вся ландшафтная оболочка рассматривается как иерархически организованная совокупность геосистем - земных пространств «всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом» [Сочава, 1978, с. 292], или геосистема – «(независимо от размерности) - это целое, состоящее из взаимосвязанных компонентов природы, подчиняющихся закономерностям, действующим в географической оболочке или ландшафтной сфере» [Сочава, 1974, с. 4].

Структура геосистем Байкальской Сибири характеризуется большой сложностью, не только по набору природных комплексов, но и по степени их

контрастности. Региональный классификационный диапазон включает геосистемы, свойственные разным субконтинентам Азии, отражает их взаимопроникновение и является уникальным ландшафтно-ситуационным примером сибирской природы в пределах Северной Азии. Отчетливо выступает ландшафтообразующее влияние рельефа, сказывающееся в высотно-поясных различиях, проявлении подгорных местоположений и вертикальной внутрizonальной дифференции возвышенных плато-равнин. Котловинные и подгорные эффекты при значительном колебании высот приводят к разнообразию и контрастности природных условий [Владимиров, 2018].

Еще недавно в ландшафтном картографировании применялись аналоговые методы, но в XXI веке они практически вытеснены новыми методами и технологиями, основное место среди которых занимает геоинформационное моделирование. Создание цифровых ландшафтных карт, обычно, представляет собой процесс выделения контуров ландшафтных структур качественного характера в интерактивном режиме или чаще - оцифровку обычной карты, созданной вручную по традиционной методике [Тесленок, Манухов, 2009; Флейс и др., 2016].

К одному из главных преимуществ геоинформационных технологий относится устранение недостатков традиционного картографирования и моделирования, уменьшение субъективности при выделении ландшафтных выделов, увеличение качества и скорости обработки больших объемов информации, возможность проведения оверлейных операций. Наложение различных сочетаний определенных тематических слоев с последующей оперативной визуализацией взаимосвязей и взаимопересечений пространственных объектов позволяет широко применять ГИС при составлении ландшафтных карт.

Главная сложность создания цифровых ландшафтных карт заключается в том, что они являются синтетическими, их содержательная часть очень разнообразна и не всегда может быть подвергнута формализации, математической обработке и интерпретации, следовательно, - и процедуре

автоматизированного построения [Тесленок, 2010]. Автоматизированное построение ландшафтной карты возможно лишь только для части количественных показателей, при создании карт необходимо учитывать, что многие количественные показатели имеют отношение не к конкретной геосистеме определенного ранга в целом, а к ее отдельным компонентам или элементам [Владимиров, 2018a].

Содержание ландшафтной карты Байкальской Сибири разработано с учетом карт «Ландшафты юга Восточной Сибири» [1977], «Ландшафты Иркутской области» [2004] на основе данных дистанционного зондирования высокого (Landsat 5 TM+, 7 ETM) и среднего (MODIS Terra) пространственного разрешения, цифровой модели рельефа (ЦМР), карты «Леса Российской Федерации» [Барталев и др., 2004], «Растительность юга Восточной Сибири» [1972], набора глобальных климатических данных WorldClim (<http://www.worldclim.org>), литературных данных по состоянию геосистем в целом и отдельным компонентам, а также результатов собственных исследований в различных районах Байкальской Сибири.

Создание ландшафтной карты апробировано на тестовом ключевом участке в виде профиля с запада на восток (от побережья Братского водохранилища до побережья оз. Байкал) длиной 400 км, шириной 120 км (рисунок 2.5).

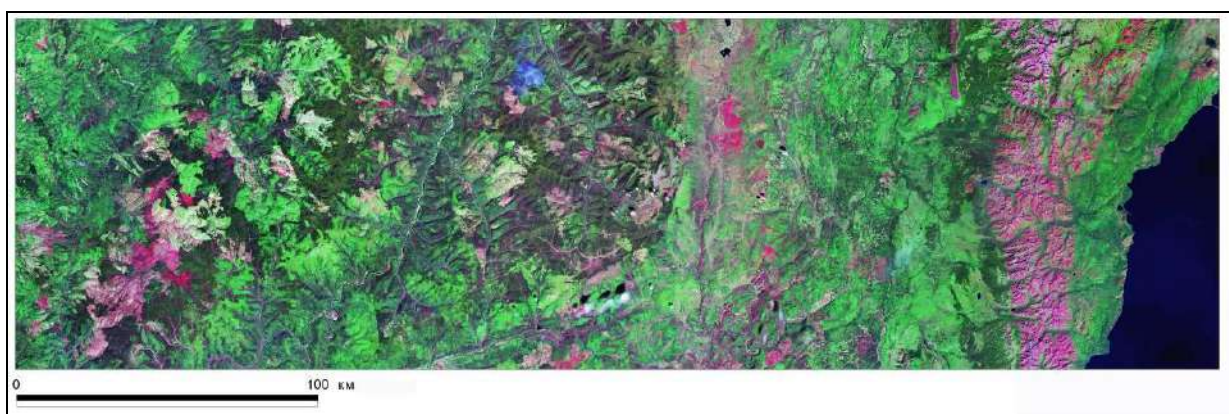


Рисунок 2.5. Космический снимок Landsat TM+ (RGB-синтез 7-4-2) на ключевой участок

Комбинация каналов 7,4,2 космического снимка Landsat TM+ дает

изображение, близкое к естественным цветам. Такое сочетание каналов применяется при изучении динамики лесов, пост-пожарном анализе территории. Лесная растительность на снимке имеет ярко-зеленый цвет, травянистые сообщества – зеленый, коричневые и оранжевые тона соответствуют разреженной растительности, ярко-розовые участки определяются как открытая почва. Оливково-зеленый цвет характерен для лиственных лесонасаждений, чем более темнее становится цвет, тем больше появляется в составе древостоя хвойных пород. Территории, пройденные лесными пожарами, выглядят на снимке ярко-красными. Урбанизированные территории отображаются в розово-фиолетовых тонах.

Наиболее испытанный, достаточно простой и универсальный метод исследований состояния и динамики растительности геосистем – расчет индексных изображений NDVI [Лошкарева, 2011; Владимиров, 2012, 2014; Кузьменко и др., 2013; Panigrahy et al., 2010] - нормализованного разностного вегетационного индекса - простого количественного показателя, коррелирующего с запасами растительной биомассы. (рисунок 2.6).

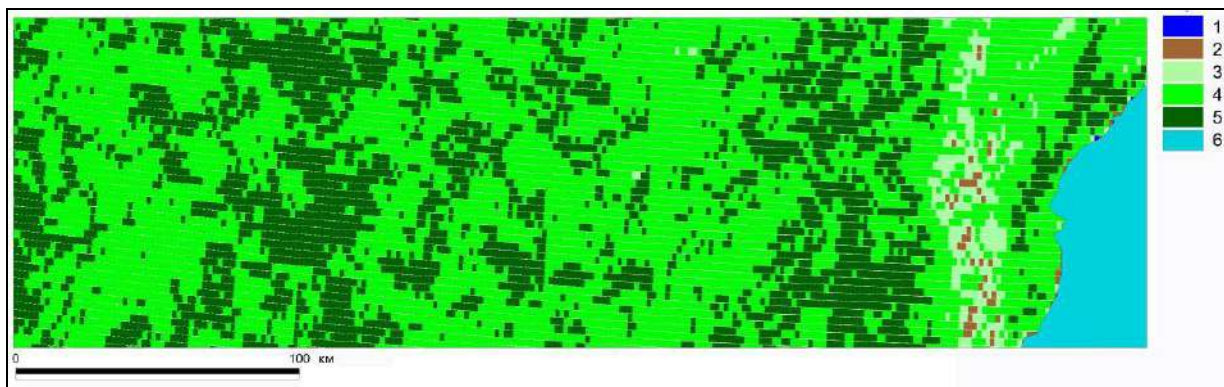


Рисунок 2.6. Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), рассчитанный по данным MODIS/Terra.

1 – менее 0, 2 – 0-0,3, 3 – 0,3-0,5, 4 – 0,5-0,8, 5 – более 0,8, 6 – оз. Байкал.

Основное предположение по использованию вегетационных индексов состоит в том, что некоторые математические операции с разными каналами данных дистанционного зондирования могут дать полезную информацию о растительности, что подтверждается множеством эмпирических данных

[Myneni et al., 1995; Richardson, Wiegand, 1977]. Особенностью применения NDVI является сведение информации от многозонального изображения к единому параметру [Владимиров и др., 2014]. Расчет *NDVI* основан на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений: 1) красная область спектра (*RED*) (0,6-0,7 мкм), в которой лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, 2) инфракрасная область (*NIR*) (0,7-1,0 мкм), где находится пространство максимального отражения клеточных структур листа. Отношение этих показателей друг к другу  $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$  дает возможность однозначно выделять и анализировать растительные сообщества от прочих природных объектов.

Для определения породного состава и сомкнутости лесного покрова использовалась цифровая вариант карты лесов Российской Федерации [Барталев и др., 2004] (рисунок 2.7). Легенда карты включает 7 типов породного состава лесов, отдельно различаются сомкнутые и редкостойные леса. В основу карты положена карта наземных экосистем Северной Евразии, полученная по данным SPOT-Vegetation [Bartalev et al., 2003].

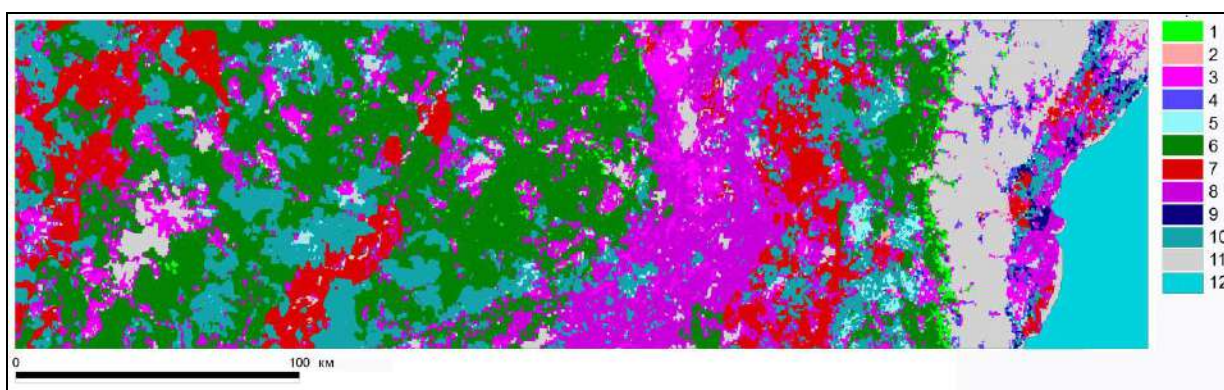


Рисунок 2.7. Фрагмент карты «Леса Российской Федерации» на ключевой участок.

1 - темнохвойные редкостойные (сомкнутость 10-40%), 2 - сосновые редкостойные (сомкнутость 10-40%), 3 - лиственничные редкостойные (сомкнутость 10-40%), 4 - кедрово-стланиковые редкостойные (сомкнутость 10-40%), 5 - мелколиственные и смешанные редкостойные (сомкнутость 10-40%), 6 - темнохвойные (сомкнутость > 40%), 7 - сосновые (сомкнутость > 40%), 8 - лиственничные (сомкнутость > 40%), 9 - кедрово-стланиковые (сомкнутость > 40%), 10 - мелколиственные и смешанные (сомкнутость > 40%), 11 – не покрытые лесом, 12 – озеро Байкал.

Для анализа рельефа (распределение высот, крутизны и экспозиции склонов) как ландшафтообразующего фактора использовалась ЦМР, созданная на основе данных радарной топографической съемки SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). По абсолютной высоте выделено восемь ярусов (высотных поясов) геосистем (рисунок 2.8).

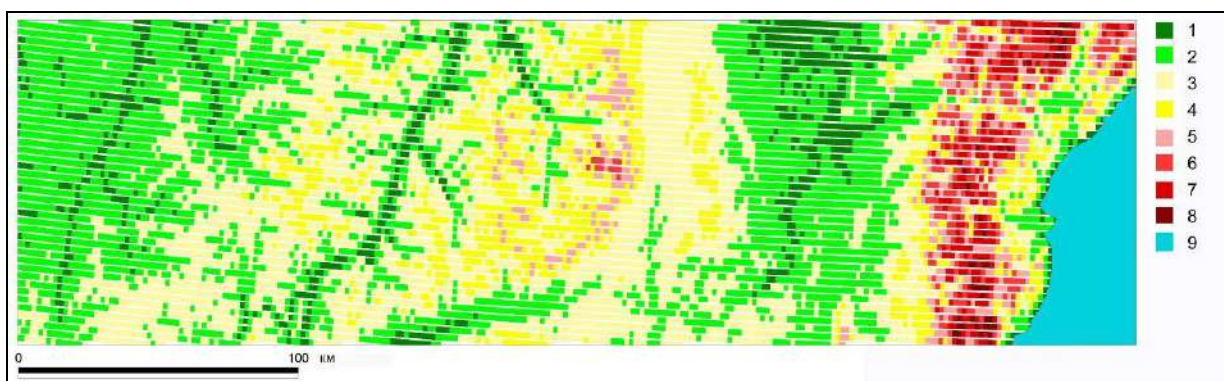


Рисунок 2.8. Дифференциация по абсолютной высоте.

1 - равнинные, долинные понижения (300-500 м над у.м.), 2 - подгорные (500-700 м над у.м.), 3 - предгорно-низкогорный (700-900 м над у.м.), 4 - низкогорные (900-1100 м над у.м.), 5 - среднегорные (1100-1300 м над у.м.), 6 - высокогорные (1300-1500 м над у.м.), 7 - подгольцовые (1500-1800 м над у.м.), 8 - гольцовые (выше 1800 м над у.м.), 9 – озеро Байкал.

Проведена дифференциация по крутизне и экспозиции склонов (рисунок 2.9, 2.10).

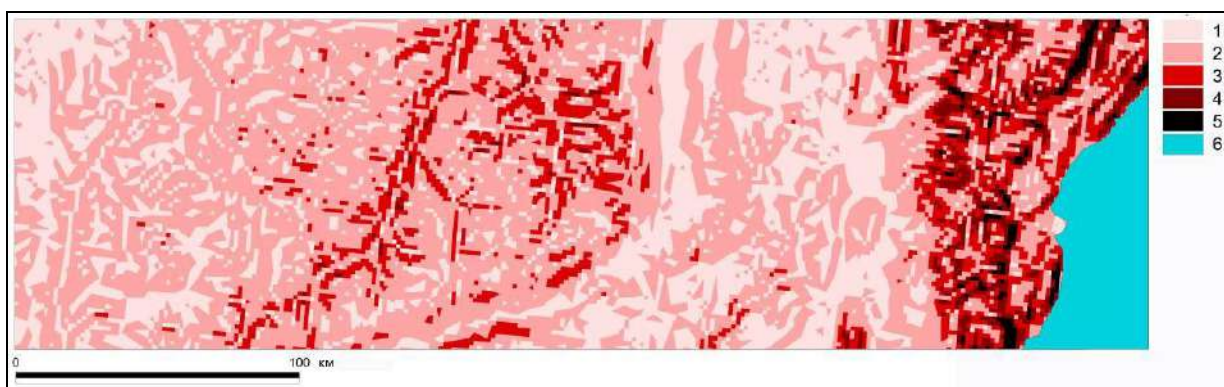


Рисунок 2.9. Дифференциация по крутизне склонов.

1 - 0-2° - слабонаклонные равнины, 2 - 2-5° - очень пологие склоны, 3 - 5-10° - пологие склоны, 4 - 10-15° - склоны средней крутизны, 5 - более 15° - крутые склоны, 6 - озеро Байкал.

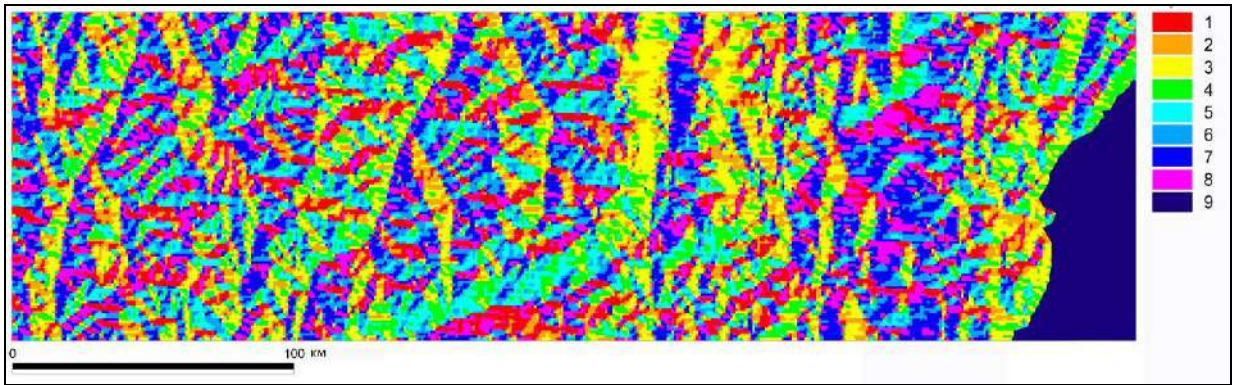


Рисунок 2.10. Дифференциация по экспозиции склонов ( $0^\circ$  - направление на север).

1 - северные ( $0-22,5^\circ$ ;  $337,5-360^\circ$ ), 2 - северо-восточные ( $22,5-67,5^\circ$ ), 3 - восточные ( $67,5-112,5^\circ$ ), 4 - юго-восточные ( $112,5-157,5^\circ$ ), 5 - южные ( $157,5-202,5^\circ$ ), 6 - юго-западные ( $202,5-247,5^\circ$ ), 7 - западные ( $247,5-292,5^\circ$ ), 8 - северо-западные ( $292,5-337,5^\circ$ ), 9 - озеро Байкал.

Для определения климатических условий использовался набор глобальных климатических данных *WorldClim* (<http://www.worldclim.org>) с пространственным разрешением 30 угловых секунд, что примерно соответствует  $1 \text{ км}^2$  (рисунок 2.11, 2.12, 2.13).

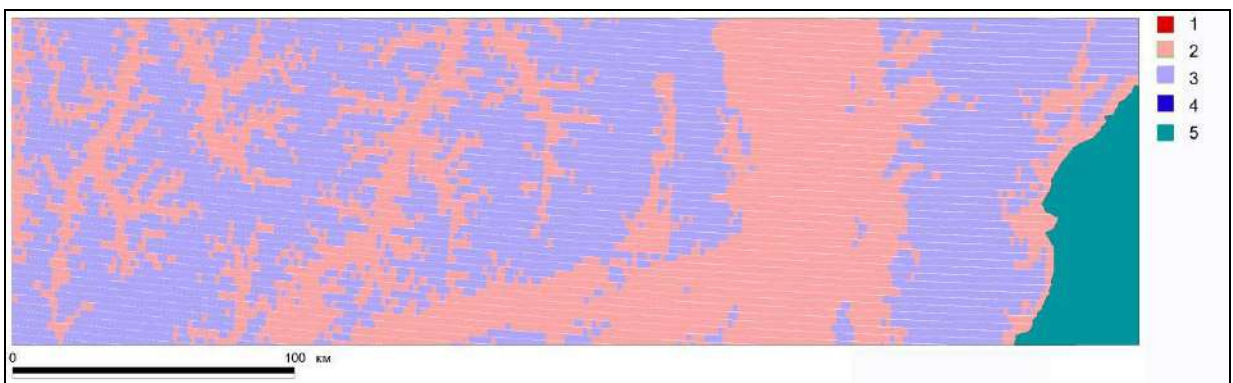


Рисунок 2.11. Среднегодовые осадки, мм/год.

1 – менее 200, 2 – 200-400, 3 – 400-800, 4 – более 800, 5 - озеро Байкал.

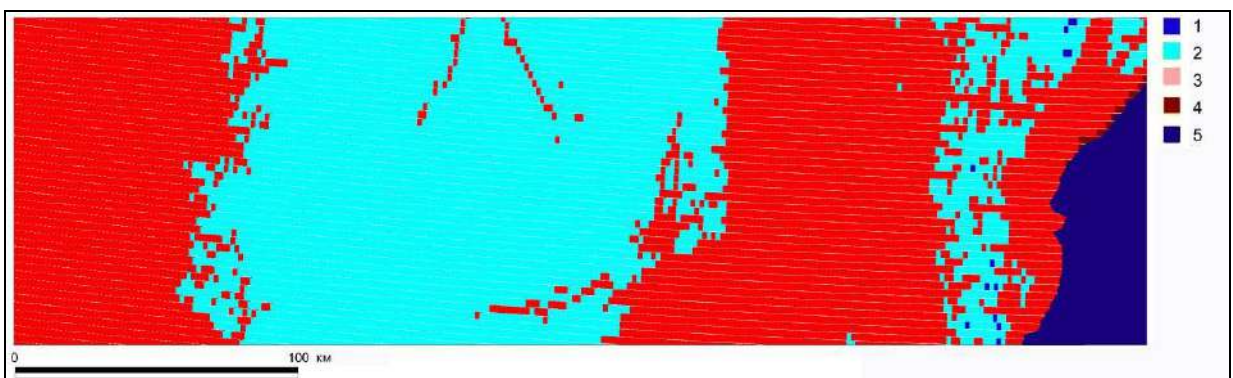


Рисунок 2.12. Средняя температура января,  $^\circ\text{C}$ .

1 – ниже  $-30$ , 2 –  $-30- -27$ , 3 –  $-27- -23$ , выше  $-23$ , 5 - озеро Байкал.



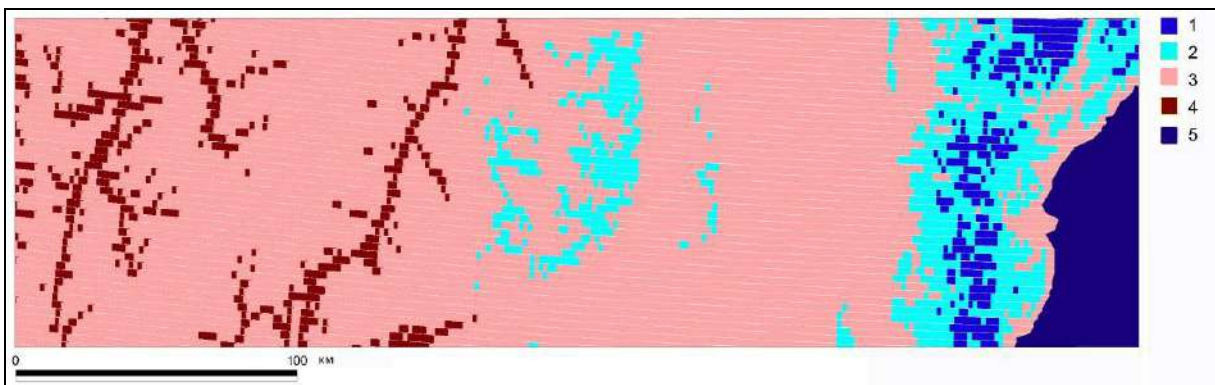


Рисунок 2.13. Средняя температура июля, °С.  
1 – ниже 11, 2 – 11-14, 3 – 14-17, выше - 17, 5 - озеро Байкал.

Для дифференциации условий местообитания по критериям теплообеспеченности и увлажнения использовались следующие показатели (таблица 2.1, 2.2)

Таблица 2.1

Дифференциация условий местообитания по теплообеспеченности

Условия местообитания по теплообеспеченности	$t_{cp}$ января, °С	$t_{cp}$ июля, °С
Холодных	< - 30	< 11
	< - 30	11-14
	-30--27	< 11
Умеренно холодных	-30--27	11-14
	-30--27	14-17
	-27--23	11-14
	< - 30	14-17
	-27--23	< 11
Умеренно теплых	-27--23	14-17
	-30--27	17-23
	-23--18	11-14
	-27--23	17-23
	-23--18	14-17
Теплых	-23--18	17-23

Таблица 2.2.

Дифференциация условий местообитания по увлажнению

Условия местообитания по увлажнению	Среднегодовое количество осадков, мм/год
Засушливые (аридные)	100-200
Умеренно сухие	200-400
Умеренно влажные	400-800
Влажные (гумидные)	> 800

Ведущими факторами ландшафтной дифференциации при создании карты геосистем Байкальской Сибири являются рельеф, климат, и характер растительности. Карта создана путем оверлейных операций с тематическими слоями (синтезированное изображение Landsat TM+ (RGB-синтез 7-4-2), NDVI, фрагмент цифровой карты лесов, дифференцированные данные по абсолютной высоте, крутизне и экспозиции склонов, среднегодовым осадкам, средней температуре января и июля) (рисунок 2.14).

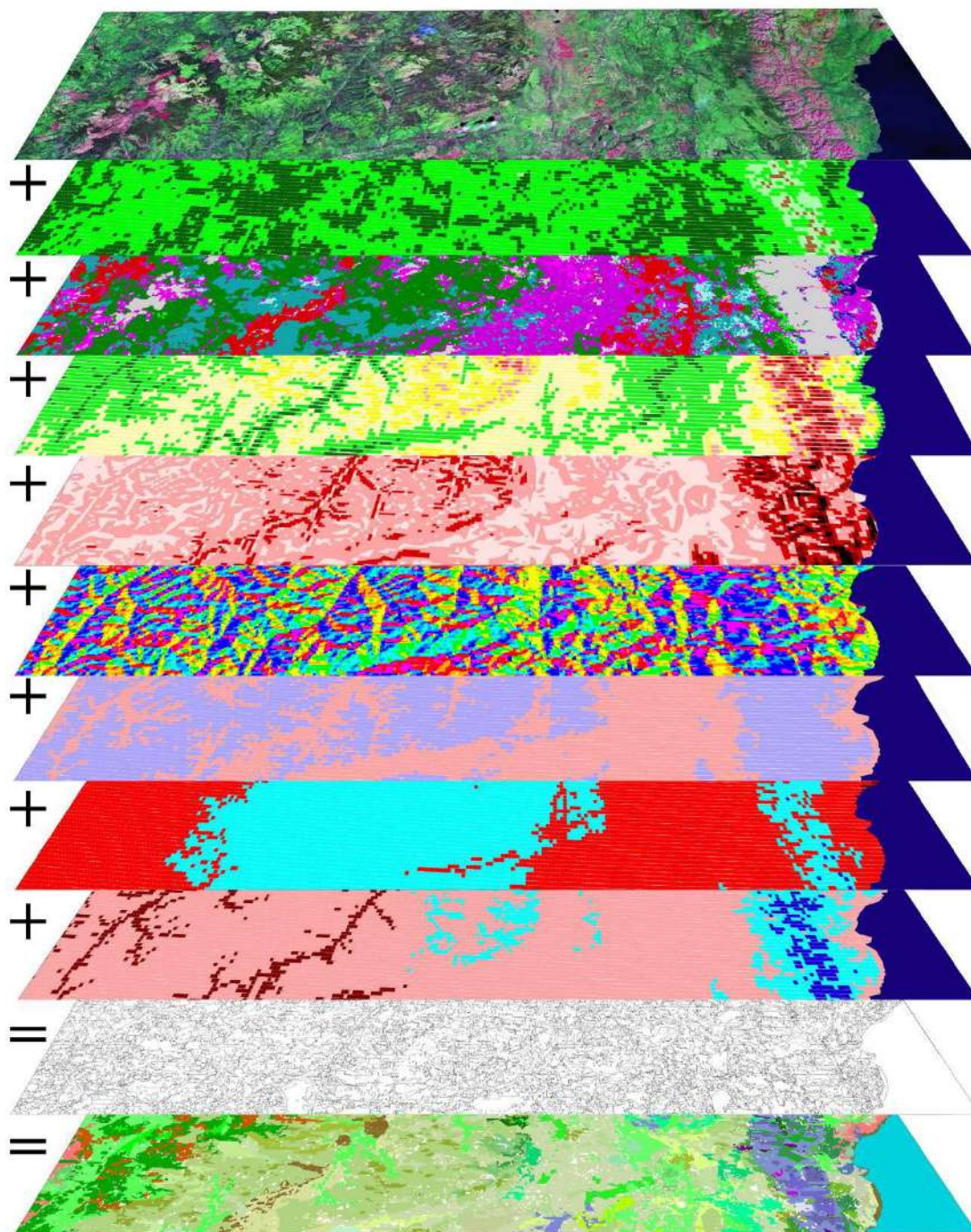
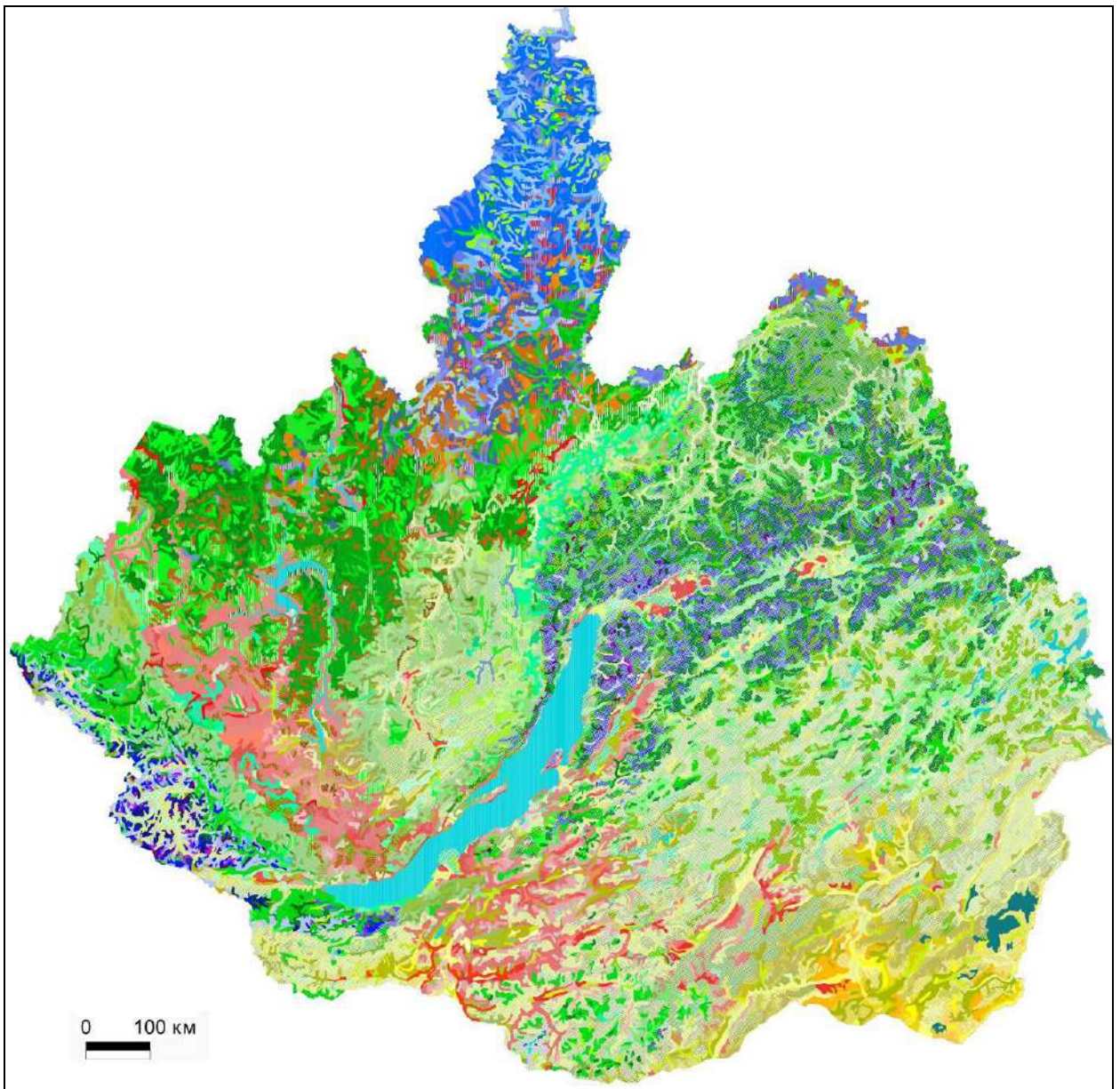


Рисунок 2.14. Схема создания ландшафтной карты на ключевой участок путем оверлейных операций в ГИС

Классификация геосистем осуществлена на основе разработанной в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН таксономической системы иерархических подразделений природной среды [Сочава, 1978]: класс (система ландшафтов) - группа геомов - геом - класс фаций - подкласс фаций - группа фаций. Картографический анализ позволил определить наиболее информативные подразделения геосистем региональной размерности, что дало возможность провести классификационное разделение ландшафтной структуры территории Байкальской Сибири. Уточнение содержания карты геосистем Байкальской Сибири проводилось с учетом карт «Ландшафты юга Восточной Сибири» [1977], «Ландшафты Иркутской области» [2004], и результатов собственных полевых исследований в различных районах Байкальской Сибири

Геосистемы Байкальской Сибири представлены на карте 194 группами фаций (рисунок 2.15), относящиеся к различным иерархическим подразделениям, структурно-функциональные особенности, которых отражают характер взаимодействия их подсистем [Владимиров, 2018]. Каждая типологическая совокупность имеет различное таксономическое обозначение и отражает разные физико-географические черты региона и разнообразные географические соотношения, исходя из функциональных свойств строения географической среды, которые координируют порядок ее организации на основе сопряжения макрогеографических закономерностей [Ландшафты..., 2004]. Региональная трактовка (среднесибирские, южносибирские, байкало-джугджурские, амуро-сахалинские, западнобайкальские, северомонгольские) указывает на принадлежность различным типам природных условий Северной и Центральной Азии, фрагменты природы которых имеют проявление на территории Байкальской Сибири (Приложение 1).



1	16	31	46	61	76	91	106	121	136	151	166	181
2	17	32	47	62	77	92	107	122	137	152	167	182
3	18	33	48	63	78	93	108	123	138	153	168	183
4	19	34	49	64	79	94	109	124	139	154	169	184
5	20	35	50	65	80	95	110	125	140	155	170	185
6	21	36	51	66	81	96	111	126	141	156	171	186
7	22	37	52	67	82	97	112	127	142	157	172	187
8	23	38	53	68	83	98	113	128	143	158	173	188
9	24	39	54	69	84	99	114	129	144	159	174	189
10	25	40	55	70	85	100	115	130	145	160	175	190
11	26	41	56	71	86	101	116	131	146	161	176	191
12	27	42	57	72	87	102	117	132	147	162	177	192
13	28	43	58	73	88	103	118	133	148	163	178	193
14	29	44	59	74	89	104	119	134	149	164	179	194
15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	

Рисунок 2.15. Геосистемы Байкальской Сибири.

Легенда карты - Приложение 1.

Совокупность географических отношений природной среды отражается через пространственные взаимосвязи ее структурных

подразделений с окружением в числе 11 регионально-типологических комплексов природных условий субконтинентального порядка (А1-А2, Б1-3, В1-3, Г1, Д1-2) и четырех континентальных систем ландшафтов субпланетарного проявления (А, Б, В, Г) на фоне всей Северной Азии.

Основной ландшафтно-типологический спектр природной среды составляют 26 подразделений (групп геомов): Южносибирские горнотундровые, южносибирские альпинотипные, Южносибирские подгольцово-редколесные, южносибирские высокогорные (редуцированного развития), Южносибирские среднегорные (ограниченного развития), Южносибирские низкогорные (оптимального развития), Южносибирские подгорные (оптимального развития), Среднесибирские среднегорные (ограниченного развития), Среднесибирские низкогорные (оптимального развития), Байкало-джугджурские горнотундровые, Байкало-джугджурские подгольцово-редколесные, Байкало-джугджурские высокогорные (редуцированного развития), Байкало-джугджурские среднегорные (ограниченного развития), Байкало-джугджурские низкогорные (оптимального развития), Байкало-джугджурские подгорные (оптимального развития), Среднесибирские северотаежные (редуцированного развития), Среднесибирские среднетаежные (ограниченного развития), Среднесибирские южнотаежные (оптимального развития), Байкало-джугджурские южнотаежные (оптимального развития), Байкало-джугджурские лесостепные, Амуро-сахалинские подтаежные (оптимального развития), амуро-сахалинские южнотаежные (оптимального развития), Амуро-сахалинские среднетаежные (ограниченного развития), Южносибирские степные, Западнобайкальские степные, Северомонгольские степные.

\* \* \*

В целом, ландшафтная структура Байкальской Сибири выступает как гетерохронное и гетерогенное образование, характеризующееся большой

сложностью, как по набору природных комплексов, так и по степени их контрастности. Современное состояние геосистем этого региона в его современных зонально-провинциальных рамках можно рассматривать как образование относительно молодое и гомохронное, оценивая возраст как голоценовый.

Сложная структура геосистем Байкальской Сибири зависит от высоты местности, экспозиции и крутизны склонов, расчлененности рельефа, мерзлотных условий, экзогенных процессов, прихода и расхода солнечной энергии, антропогенных воздействий.

Значительные различия всего комплекса природных условий определяются тем, что Байкальская Сибирь - регион с уникальным разнообразием геосистем, обусловленным его пограничным положением в центральной части субконтинента Северной Азии, находящейся на трансконтинентальном долготном рубеже влияния основных генераторов климата Евразии - Атлантического и Тихого океанов. На территории Байкальской Сибири размещены Южно-Сибирские, Байкало-Джугджурские, Среднесибирские и Центрально-Азиатские геосистемы, имеющих свои особенности развития ландшафтно-географических процессов, и определяющие современный природный экологический потенциал геосистем.

Разнообразная ландшафтная структура Байкальской Сибири придает ей ярко выраженную природную специфику и контрастность, что определяет необходимость тщательного учета особенностей природных условий, экологического потенциала геосистем при решении вопросов оптимизации природопользования.

### **Глава 3. Оценка экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири**

Основным методом исследования и оценки экологического потенциала является картографическое моделирование с созданием универсальных и специальных карт на основе современных геоинформационных технологий. Основой выявления экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири является карта геосистем региона в обзорно-справочном масштабе (1: 2 500 000), опирающаяся на принципы многоступенчатой регионально-типологической и структурно-динамической классификации геосистем, предложенных академиком В.Б. Сочавой. Карта отражает основные структурно-динамическое разнообразие геосистем региона в системах их географо-генетической пространственных структур, с указанием основных факторов, определяющих их природный экологический потенциал.

Оценочный этап исследования экологического потенциала опирается на данные дистанционного зондирования Земли, материалы о состоянии растительности, карту геосистем. Все это является информационной базой при составлении специальных оценочных карт. Содержание таких карт определяется задачами получения необходимой информации как об особенностях геосистем в целом, так и отдельных компонентов геосистем (например, биоты, а конкретнее растительности), необходимых для получения объективных результатов и дальнейшей разработки прогнозов.

Развитие новых технологий и методов научных исследований требует создание более совершенных методов обработки географических данных и представления полученных результатов. К таким методам относятся геоинформационные технологии, которые с высокой пространственной точностью способны отображать меняющиеся во времени и пространстве различные процессы и явления, и обладают большими возможностями анализа, комплексирования, моделирования [Владимиров, 2011]. Основным носителем информации выступают данные дистанционного зондирования - в

частности, космо- и аэро- снимки, позволяющие формировать образ местности в очень широком диапазоне масштабов.

Геоинформационный анализ и моделирование как компонентов, так и геосистем в целом, включает в себя как вопросы создания, так и использования географических информационных систем (ГИС), данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для определения различных параметров состояния геосистем, так и связанных с ДДЗ математическими методами и алгоритмами, вычислительными технологиями [Vladimirov, 2007].

Содержательное соответствие решаемой проблеме одно из важнейших свойств ГИС как модели геосистемы, что предполагает научно обоснованное отображение главных особенностей действительности с учетом генезиса, внешней и внутренней структуры, а также иерархии объектов.

Задача расчета интегрального показателя экологического потенциала геосистем не может быть решена без использования пространственных данных о границах геосистем и современном состоянии компонентов, представленных соответствующими картографическими материалами, в частности, созданной картой геосистем, ресурсными картами и т.п., Следовательно, задача картографической оценки показателя экологического потенциала в самой своей постановке является задачей геоинформационного моделирования, позволяющей в дальнейшем создать объективную основу для оптимизации режимов природопользования в Байкальской Сибири.

Современные геоинформационные технологии в сочетании с традиционными методами позволяют на новом уровне подходить к оценке экологического потенциала и картографированию геосистем, учитывая сложность и многоаспектность объектов картографирования, что позволяет формировать инфраструктуру пространственных данных и создавать новые разномасштабные цифровые карты.



### **3.1. Геоинформационный анализ и моделирование структуры и динамики растительности геосистем**

Эффективность дистанционных исследований Земли из космоса во многом определяется используемыми методами обработки данных ДДЗ. При этом одной из центральных задач, безусловно, является система классификации. Главный вопрос интерпретации ДДЗ (вопрос повышения качества дешифрирования) непосредственно связан с проблемой выбора адекватного алгоритма распознавания. В настоящее время создано большое количество алгоритмов автоматизированного дешифрирования (классификации космических изображений), под которыми понимается процесс сегментации изображений, основанный на попиксельном анализе и выделении однородных областей (классов) по спектральным свойствам. Первичными признаками при классификации космических снимков являются яркостные характеристики снимка (яркость пикселей в различных спектральных диапазонах съемки). Вторичные признаки - характерный размер, форма и текстура объектов.

При геоинформационном картографировании современного состояния лесной растительности Северного Прибайкалья были использованы различные алгоритмы классификации без обучения ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) - итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных и K-Means (кластеризация с помощью K-средних). С использованием информации о лесной растительности, полученной в ходе экспедиционных исследований, были применены алгоритмы контролируемой классификации - методы максимального правдоподобия, расстояния Махаланобиса и минимального расстояния. Также использовалась методика, которая предполагает совместное использование индексов NDVI и NDWI, цифровой модели рельефа (ЦМР) на основе данных радарной топографической съемки SRTM [Владимиров, 2012]. Была использована разнокачественная информация: дистанционное зондирование, картографические материалы, материалы наземных исследований, базы

данных ГИС: 1) снимки высокого пространственного разрешения (Landsat 7 ETM+, Landsat 5 TM); 2) топографические карты масштаба 1:100 000, 1:200 000; 3) данные SRTM; 4) информация государственного учета лесного фонда, лесотаксационные описания; 5) экспедиционные материалы.

Ключевой участок исследования расположен в бассейне р. Куркулы на юго-восточном макросклоне Байкальского хребта (рисунок 3.1) и характеризуется большой емкостью местообитаний, а, следовательно, и разнообразием растительных сообществ. Фитоценозы отличаются друг от друга большим числом признаков, а именно проективным покрытием, соотношением экологических групп, приуроченностью к формам рельефа, надземной фитомассой и т.д.

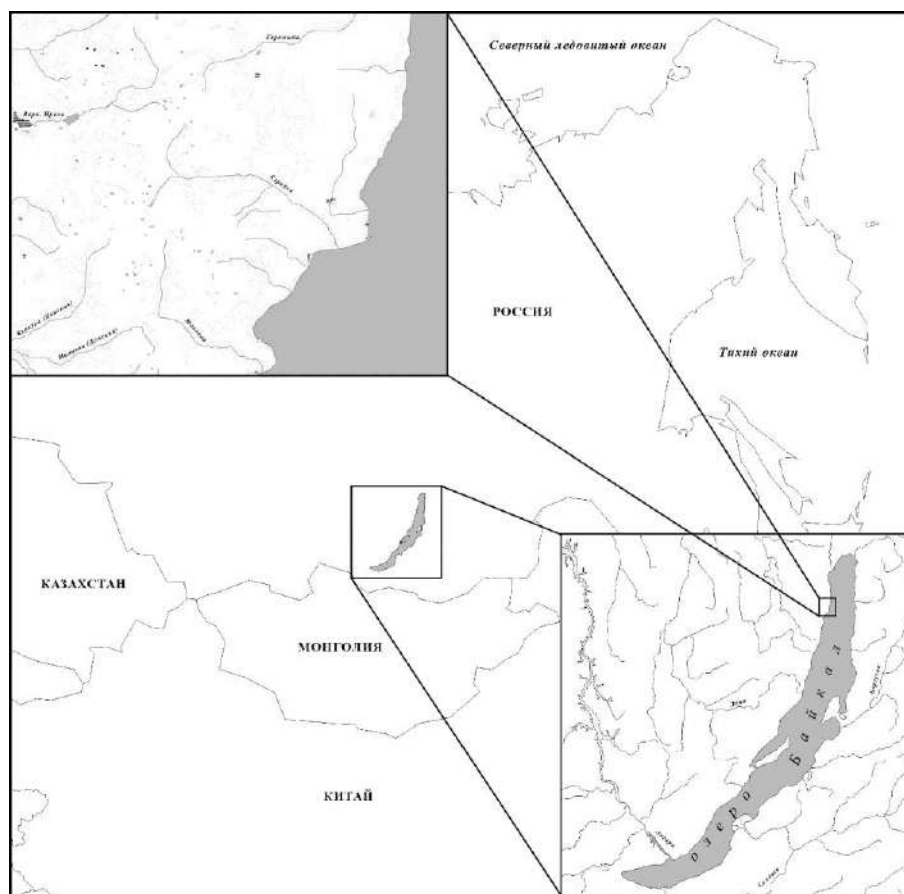


Рисунок 3.1. Географическое положение Куркулинского ключевого участка на юго-восточном макросклоне Байкальского хребта

При решении задач, связанных с анализом и распознаванием ДДЗ, в большинстве случаев отсутствует не только априорная информация о вероятностных характеристиках классов, но и недостаточна

классифицированная обучающая выборка. Естественный выход из этой ситуации - применение алгоритмов автоматической классификации. Главным отличием алгоритмов ISODATA является то, что на стадии инициализации алгоритма ISODATA выполняется распределение пикселей изображения, для алгоритма K-Means происходит распределение значений математических ожиданий [Владимиров, 2012].

Целью алгоритма K-Means (рисунок 3.2, а) является группировка некоего количества векторов данных в predetermined количество кластеров. Инициация векторов центров кластеров происходит произвольным образом. Каждый из векторов центра тяжести кластера представляют из себя среднее всех векторов, которые принадлежат кластеру. При классифицировании изображения вектор данных представляет собой пиксел изображения. Затем, каждому пикселу определяется значение ближайшее к среднему, т.е. центру кластера. В дальнейшем, когда всем пикселям присвоены ближайшие к ним величины кластеров, среднее значение каждого кластера пересчитывается на основе всех векторов, вошедших в кластер. Повторение расчета происходит до тех пор, пока средние значения кластеров не перестанут изменяться в значительной степени.

В алгоритме ISODATA (рисунок 3.2, б) вычисляются средние значения класса (кластера), равномерно распределенные в пространстве данных, затем итеративно группируются оставшиеся пиксели с использованием методов минимального расстояния. Каждая итерация пересчитывает средние значения и реклассифицирует пиксели по отношению к новым средним значениям. Итеративное разделение, объединение и удаление классов выполняется на основе входных пороговых параметров. Все пиксели относятся к ближайшему классу, если не указано стандартное отклонение или пороговое значение расстояния, и в этом случае некоторые пиксели могут быть не классифицированы, если они не соответствуют выбранным критериям. Этот процесс продолжается до тех пор, пока число пикселей в каждом классе не изменится меньше, чем выбранный порог изменения пикселей, или пока не

будет достигнуто максимальное количество итераций [Tou, Gonzalez, 1974]. Поскольку количество кластеров и количество итераций задается пользователем, в наших исследованиях опробованы различные значения итераций от 5 до 20 и числа классов от 10 до 120.

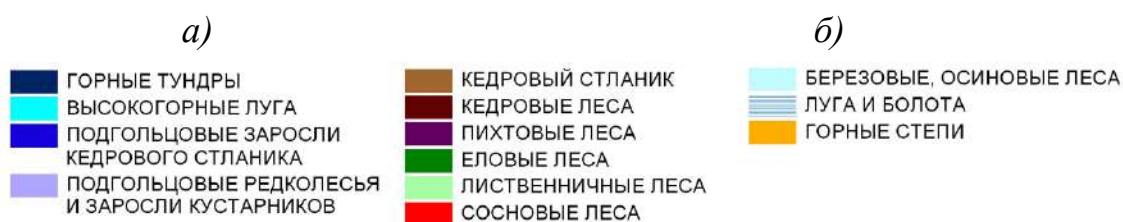
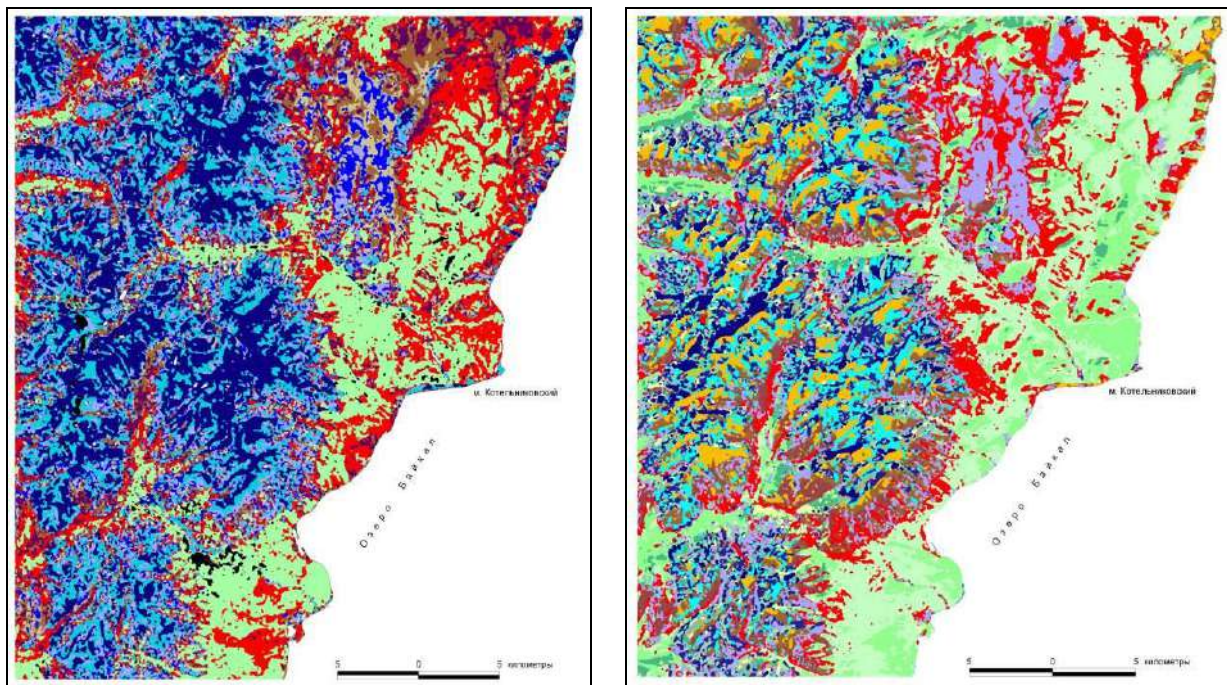


Рисунок 3.2. Результаты моделирования современного состояния растительности с применением алгоритмов не контролируемой классификации ДДЗ *a)* с использованием алгоритма K-Means, *б)* с использованием алгоритма ISODATA

Алгоритмы неконтролируемой классификации обладают следующими преимуществами: 1) необязательное условие наличия априорной информации о свойствах дешифрируемой территории (алгоритмы контролируемой классификации требуют дополнительной информация для создания эталонных выборок); 2) независимость алгоритмов неконтролируемой классификации от человеческого фактора (классы, создаваемые в процессе неконтролируемой классификации, по

спектральному составу являются более последовательными, чем созданные в процессе работы алгоритмов контролируемой классификации); 3) алгоритмами неконтролируемой классификации создаются уникальные классы.

Однако кластеризация ДДЗ без предварительной обработки зачастую приводит к неудовлетворительным результатам при классификации растительности с близкими спектрально-яркостными характеристиками, так как выбор параметров, позволяющих разделить эти классы, ведет к чрезмерной раздробленности полученных результатов. Одним из вариантов решения данной проблемы является применение алгоритмов контролируемой классификации. В нашем исследовании были использованы: 1) метод минимального расстояния (*Minimum Euclidean Distance*) – используется средний вектор (расстояние между центрами (среднее значение яркости)) обучающих выборок для каждого класса и вычисляется евклидово расстояние от каждой неклассифицированной области до среднего вектора для каждого класса (рисунок 3.3, а); 2) метод максимального правдоподобия (*Maximum Likelihood*) – в основу положена корреляция между значениями яркости в разных спектрах снимка, в многомерном поле признаков граница между классами может являться нелинейной (что представляется очень частым случаем при наличии значительного количества классов с перекрывающимися значениями яркостных характеристик) (рисунок 3.3, б); 3) метод «расстояние Махаланобиса» (*Mahalanobis distance*) использует статистику для каждого класса. он подобен классификации способом максимального правдоподобия, но более быстрый и предполагает, что ковариации всех классов равны (рисунок 3.3, в).

Использование различных алгоритмов классификации не позволило получить абсолютно достоверные результаты для всей территории Северо-Западного Прибайкалья, что связано с особенностью региона исследования, недостаточным количеством данных для восстановления параметров решающего правила при кластеризации, возможной нерепрезентативностью обучающих последовательностей для геоинформационного моделирования

состояния растительности, представленной большим фитоценотическим разнообразием сообществ горно-тундрового, альпинотипного, горно-таежного и степного типов.

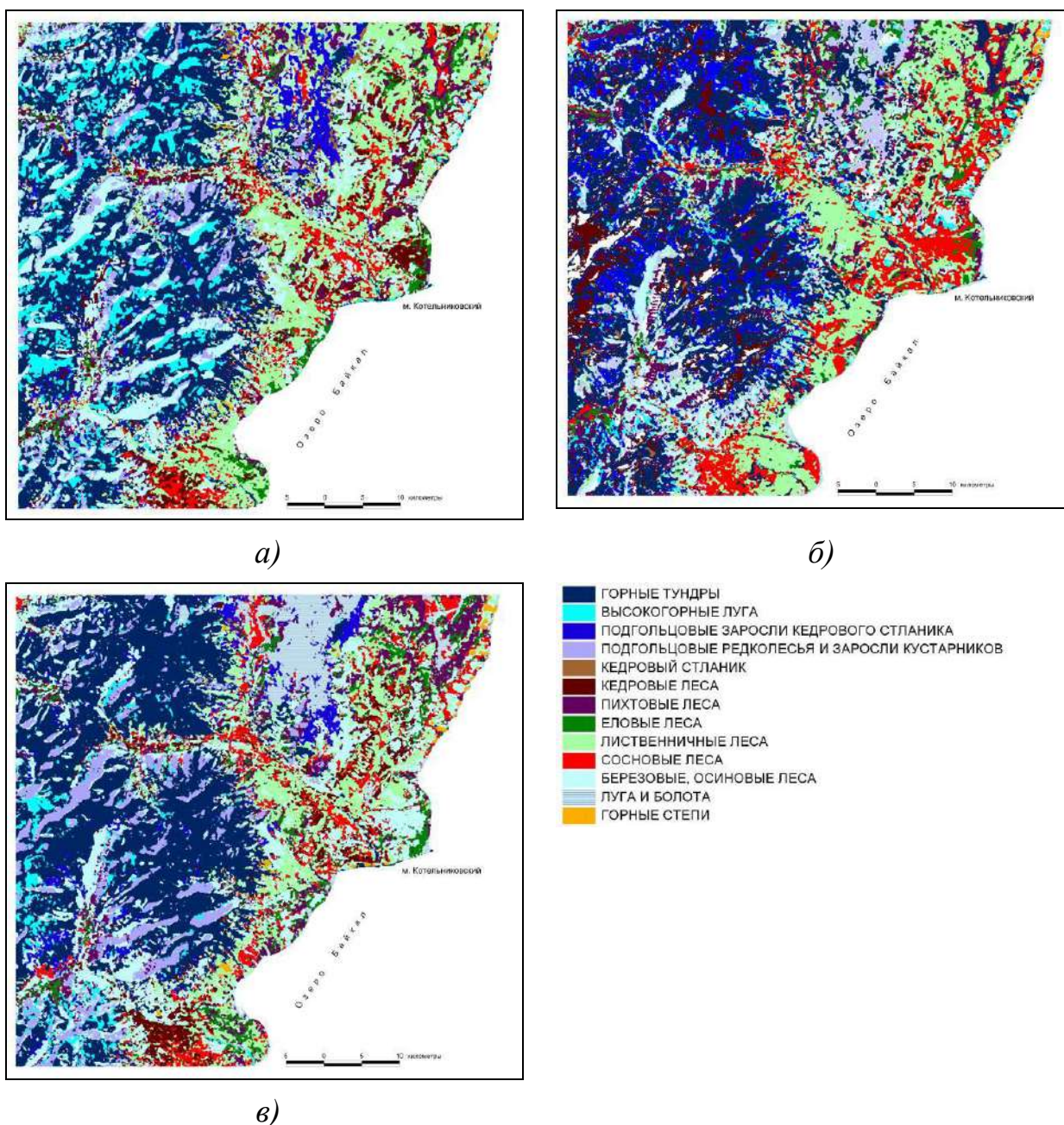


Рисунок 3.3. Результаты моделирования современного состояния растительности с применением алгоритмов контролируемой классификации ДДЗ: а) с использованием метода минимального расстояния, б) с использованием метода максимального правдоподобия, в) с использованием метода «расстояние Махаланобиса»

Одним из решений проблемы получения достоверных данных является методика, предполагающая совместное использование индексов NDVI и

NDWI, ЦМР на основе данных радарной топографической съемки SRTM [Владимиров, 2012] (рисунок 3.4).

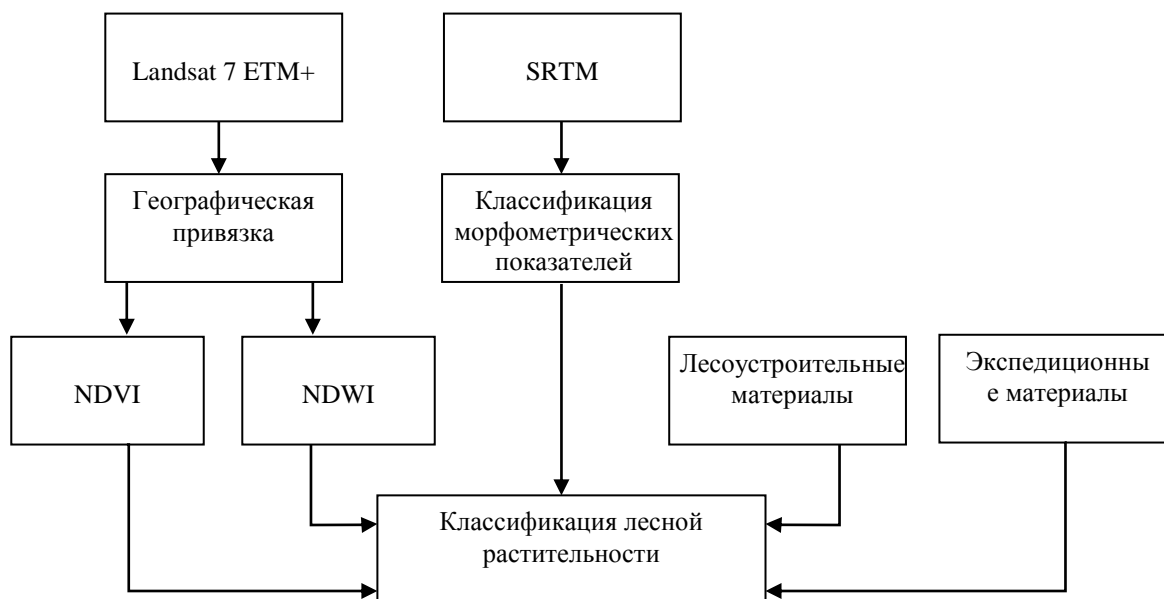


Рисунок 3.4. Логическая схема методики оценки и картографирования лесной растительности с использованием ДДЗ и ГИС-технологий

Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) является одним из самых известных индексов, простой в вычислении, имеет широкий динамический диапазон, и отличную чувствительность к изменениям в растительном покрове. Он характеризуется умеренной чувствительностью к изменениям почвенного и атмосферного фона.

Как уже было отмечено, расчет NDVI основан на двух наиболее стабильных, не зависящих от прочих факторов, пространствах спектральной кривой отражения сосудистых растений: максимуме поглощения солнечной радиации хлорофиллом в красном диапазоне спектра - 3-й канал Landsat 7 ETM+ - 0,63-0,69 мкм, и областью максимального отражения клеточных структур листа в ближнем инфракрасном диапазоне - 4-й канал Landsat 7 ETM+ - 0,78-0,90 мкм, в результате, высокая фотосинтетическая активность приводит к меньшему отражению в красном диапазоне спектра и к большему в инфракрасном. NDVI вычисляется как отношение измеренных значений

спектральной яркости в красной (*RED*) и ближней инфракрасной области (*NIR*) спектра по следующей формуле:  $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ .

На значение NDVI влияет сомкнутость и видовой состав растительного покрова, экспозиция крутизна склонов, тип почвы под разреженной растительностью. Значение индекса находятся в диапазоне от -1 до 1. Для зеленой растительности - от 0,2 до 0,8.

К основным преимуществам вегетационных индексов относятся легкость их получения и широкий спектр решаемых с их помощью задач. Часто NDVI используется как один из инструментов при создании карт продуктивности лесов и сельскохозяйственных земель, ландшафтных, почвенных, аридных, фитогидрологических, фенологических и других эколого-климатические карт [Черепанов, 2009; Кузьменко и др., 2013; Владимиров и др., 2014].

Основным недостатком NDVI является врожденная нелинейность индекса, базирующегося на отношении, и чувствительность к аддитивным шумам, например, к вызванным атмосферным излучением.

Расчет нормализованного разностного водного индекса NDWI (*Normalized Difference Water Index*) проводится по следующей формуле:  $NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ , где *NIR* – значение спектральной яркости в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, *SWIR* – значение спектральной яркости в среднем инфракрасном диапазоне спектра. Совместное применение значений яркостных характеристик в ближнем инфракрасном диапазоне (4-й канал Landsat 7 ETM+ - 0,78-0,90 мкм) и среднем инфракрасном диапазоне (5-й канал Landsat 7 ETM+ - 1,55-1,75 мкм) позволяет выявлять вариации растительного покрова, связанные с условиями увлажнения.

Максимальные значения индекса NDWI, связанного с содержанием влаги, в целом, отмечаются в сообществах с гигрофильной растительностью - болота, луга, и т.п. Наиболее низкие значения признака характерны для ксерофитных сообществ.

Для объективного выявления особенностей пространственной



приуроченности растительных сообществ была использована ЦМР на основе данных радарной топографической съемки SRTM [Rabus et al., 2003; Luedeling and Buerkert, 2008]. Данные SRTM представляют собой матрицу высот с размером ячейки 3 угловые секунды (примерно 90 м). Следует отметить, что пространственное разрешение SRTM определенным образом накладывает отпечаток на последующие вычисления, что в полной мере относится к уклону, экспозиции склонов и другим переменным, величины которых реагируют на заданные размеры ячейки модели, устанавливая пределы детализации моделируемой поверхности [Vladimirov and Sorokovoy, 2014].

На этапе подготовки материалов для исследования производилось импортное представление данных SRTM в формат MapInfo Vertical Mapper для последующей конвертации растрового представления объектов в векторное. Задавалась необходимая проекция, единицы измерения координат, расстояний и площадей. Для обработки и анализа полученных значений построены матрицы высот с регулярным шагом 30 м, соответствующие пространственному разрешению данных Landsat 5 TM, 7 ETM+. На основе полученной GRID-модели по абсолютной высоте произведен расчет крутизны и экспозиции склонов. Все рассчитанные характеристики в виде регулярных сетей (абсолютная высота, крутизна и экспозиция склонов, значения индексов NDVI и NDWI) были конвертированы в векторный вид и представляют собой массив регулярно распространенных точек. Таким образом, были подготовлены данные по рассматриваемым факторам анализа. Эти данные сведены в таблицы формата MapInfo, Microsoft Excel.

Исследуемая территория характеризуется большой емкостью местообитаний, а, следовательно, и разнообразием растительных сообществ. Фитоценозы отличаются друг от друга большим числом признаков, а именно проективным покрытием, соотношением экологических групп, приуроченностью к формам рельефа, надземной фитомассой и т.д. Все это позволяет интерпретировать на значениях рассчитанных вегетационного индекса типы растительных сообществ.

Классификация результатов расчета вегетационного индекса NDVI

должна обеспечивать отделение покрытых лесом от непокрытых лесом участков, а также подразделение покрытых лесом на хвойные, лиственные и смешанные насаждения. Источниками вспомогательной информации для классификации изображений являются лесоустроительные материалы, характеризующие территориальное распределение лесов и их породный состав, а также данные экспедиционных исследований на ключевых участках.

Цифровая мультиспектральная космическая информация отражает разнообразные факторы ландшафтной среды и может интерпретироваться как координатное пространство комплексных факторов такой среды. Это позволяет исследовать закономерности размещения пикселей в границах выделов в данном факторном пространстве ординации. Каждый выдел имеет свое частотное распределение пикселей по значениям индекса (гистограмму), и в пространстве ординации выдел представлен набором точек, для конкретного определения которого выделяется модальное значение (точка оптимума). Остальные значения индекса рассматриваются как множество допустимых (свойственных) отклонений от нее, за пределами которой находятся несвойственные состояния данного местоположения.

Близость выделов в ординационном пространстве не всегда обусловлена их типологическим сходством по составу древостоя или типу местоположения [Vladimirov, Sorokovoy, Kobylkin, 2012]. Например, часто трудно различить кедровые и пихтовые леса, сосновые и лиственничные леса и т.д. В спорных областях выделу присваивается тот тип, который в границах контура на снимке проявляется максимально (по числу пикселей).

Значения NDVI варьировали в пределах отдельных фитоценозов неоднозначно, что с одной стороны определялось доминированием в них растений различных жизненных форм и видов, с другой – накоплением в течение вегетационного периода запаса биомассы. Наибольшими значениями NDVI на ключевых участках в период максимального развития растительности характеризуются выделы с сомкнутым древостоем, представленные светлохвойными лесами (0,20-0,50), несколько меньшие значения индекса соответствуют мелколиственным лесам (0,10-0,20), гарям,

вырубкам, рединам соответствуют значения от 0 до 0,10. Наименьшей наземной фитомассой и значениями NDVI (от -0,20 до 0) характеризуются сухие каменистые степи и гольцы. Лишайниковая растительность на крутых скально-осыпных склонах северной и северо-западной экспозиций имеет значения NDVI меньше -0,20 (рисунок 3.5).

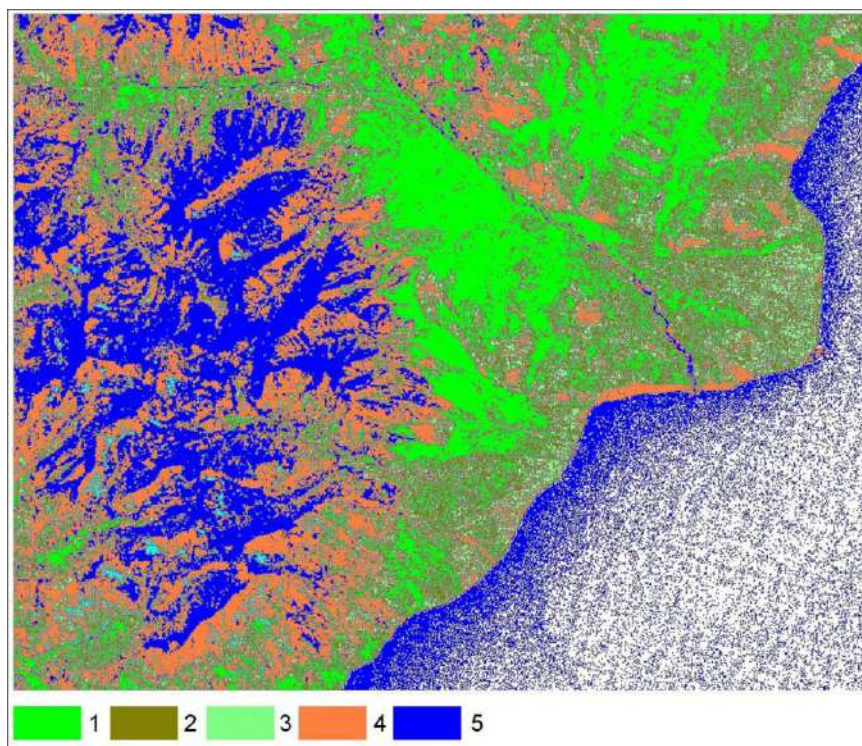


Рисунок 3.5. Классифицированное изображение, полученное по результатам расчета NDVI, на территорию ключевого участка юго-восточном макросклоне Байкальского хребта.

1 - Растительность с сомкнутым древостоем, представленная светлохвойными лесами; 2 - Мелколиственные леса; 3 - Гари, вырубки, редины; 4 - Сухие каменистые степи и гольцы; 5 - Лишайниковая растительность на крутых скально-осыпных склонах северной и северо-западной экспозиций.

На втором этапе исследований происходит вычисление индекса содержания влаги NDWI. Совместное использование индексов NDVI и NDWI, отражающих физиологическое состояние насаждений в части обеспеченности их хлорофиллом и водой, позволило распределить исследованные сообщества в группы, определяющиеся условиями увлажнения и запасом биомассы [Vladimirov, Sorokovoy, 2014]. Первый ряд соответствует более сухим местообитаниям, например, гольцовому и степному поясам. Второй ряд сообществ приурочен к влажным местообитаниям, занимающим понижения в

рельефе (прибрежно-водная растительность, болотные массивы, пойменная растительность и т.п.). Отчетливо выделяется нивально-гляциальный пояс.

Для дифференциации территории и выделения сходных местоположений растительности на основе цифровой модели рельефа построены карты абсолютной высоты (рисунок 3.6), крутизны и экспозиции склонов. Выделено 8 типов экспозиции склонов (рисунок 3.7) и 6 градаций крутизны склонов: 1) выровненные поверхности (0-2°); 2) пологие склоны (2-7°); 3) покатые склоны (7-15°); 4) склоны средней крутизны (15-20°); 5) крутые склоны (20-40°); 6) очень крутые склоны (более 40°) (рисунок 3.8).

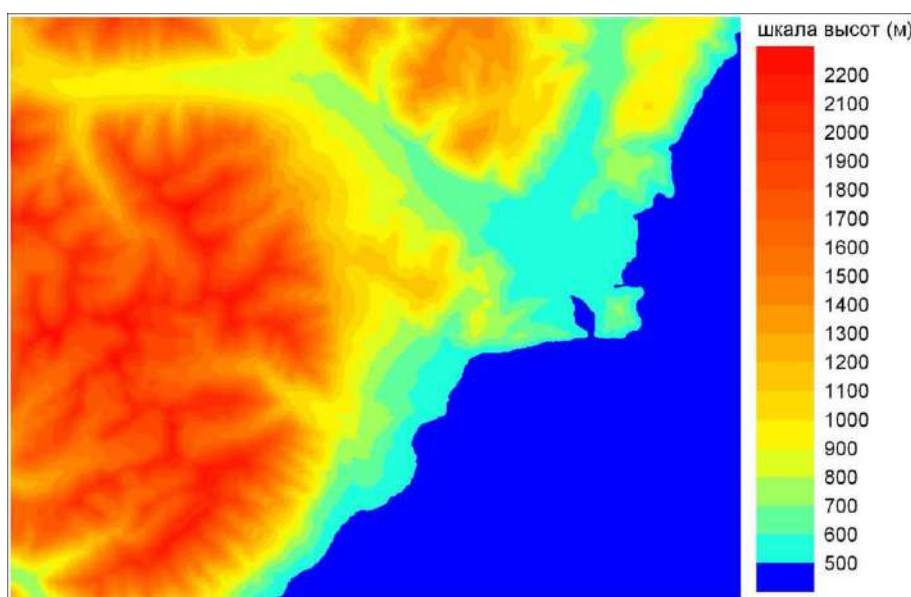


Рисунок 3.6. Дифференциация территории ключевого участка на юго-восточном макросклоне Байкальского хребта по абсолютной высоте

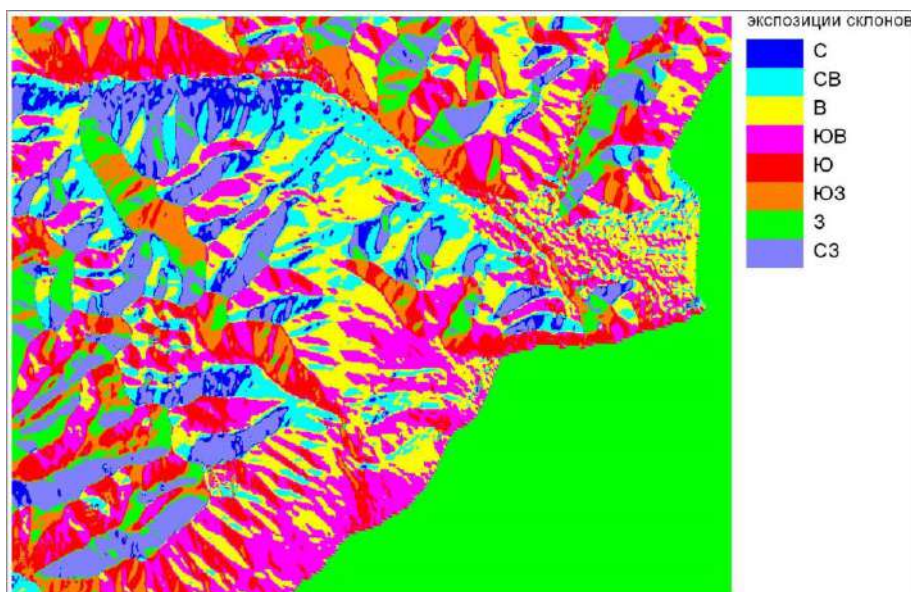


Рисунок 3.7. Дифференциация территории ключевого участка на юго-восточном макросклоне Байкальского хребта по экспозиции склонов

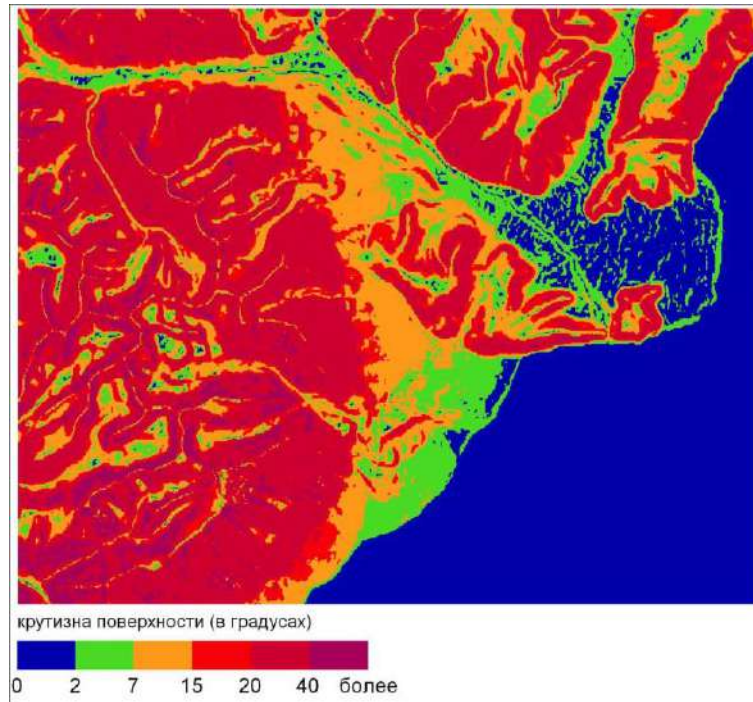


Рисунок 3.8. Дифференциация территории ключевого участка на юго-восточном макросклоне Байкальского хребта по крутизне склонов

Для определения породного состава лесов предложена методика, основанная на алгебре логики - дерево решений - схематическое представление в виде древовидной структуры сложного процесса принятия решений, применяемого при многоходовом процессе анализа (рисунок 3.9).

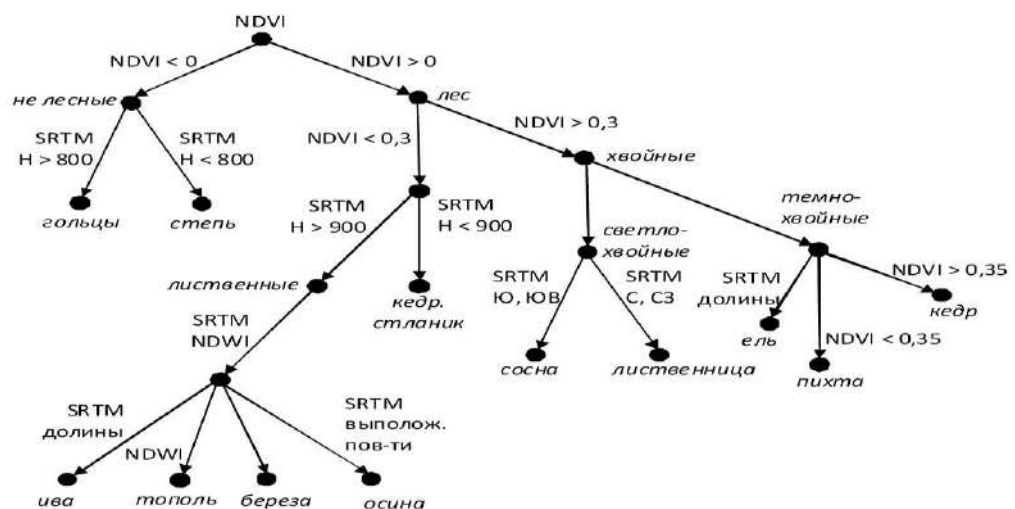


Рисунок 3.9. Дерево рассуждений определения породного состава лесов

На рисунке 3.10 представлены результаты моделирования современного состояния растительности с использованием индексов NDVI и NDWI, ЦМР на основе данных SRTM.

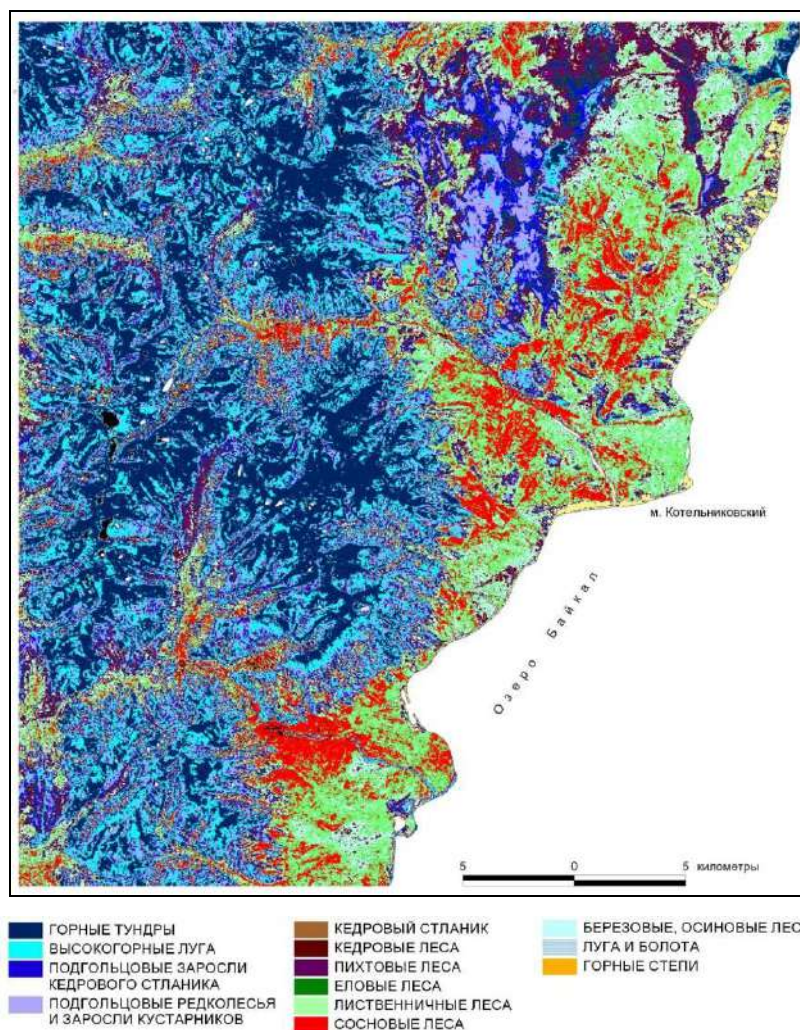


Рисунок 3.10. Результаты моделирования современного состояния растительности с использованием NDVI, NDWI и SRTM на территорию ключевого участка на юго-восточном макросклоне Байкальского хребта

Полученные в ходе исследований результаты подтверждаются данными экспедиционных исследований, проведенных на ключевых участках. Первый участок расположен на побережье озера Байкал в районе мыса Котельниковский и устьевой части долин рек Куркулы и Горячей (рисунок 3.11). Второй участок расположен в среднем течении р. Куркула (рисунок 3.12). Сравнения результатов показаны на рисунке 3.13.

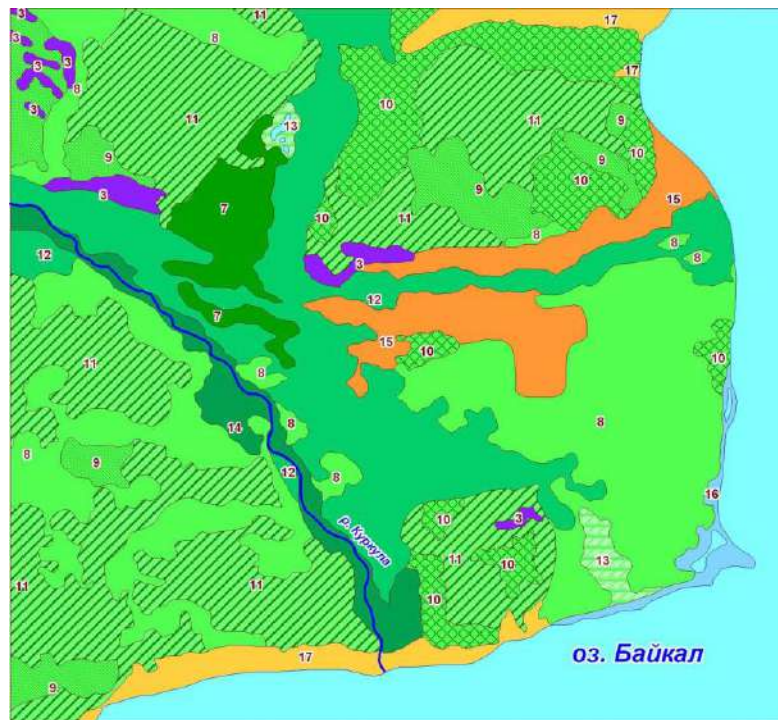


Рисунок 3.11. Ландшафтная структура модельного участка, расположенного на побережье озера Байкал в районе мыса Котельниковский

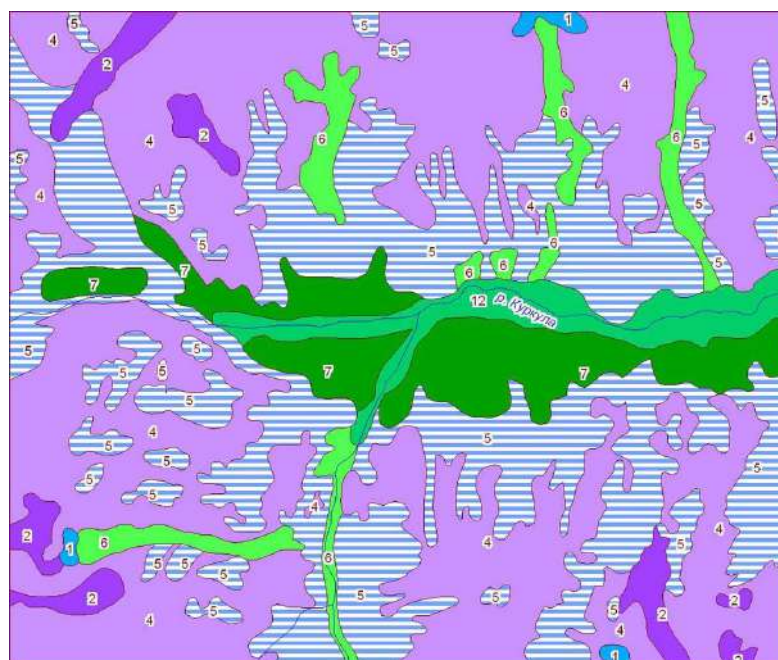


Рисунок 3.12. Ландшафтная структура модельного участка, расположенного в среднем течении р. Куркула

Условные обозначения к рисункам 3.11, 3.12: *Нивально-гляциальный*: 1. Снежники; *Гольцовый*: 2. Скальных водоразделов и каров, 3. Останцов выветривания и каменистых россыпей, 4. Крутосклоновые скально-осыпные лишайниковые, 5. Кедрово-стланниковые, 6. Горно-долинные лугово-тундровые; *Горно-таежный*: 7. Горно-долинные темнохвойные, 8. Горно-долинные светлохвойные, 9. Склоновые светлохвойные редин и редколесий, 10. Мелколиственные на горях и вырубках, 11. Склоновые светлохвойные, 12. Пойменные крупных рек; *Подгорный*: 13. Заболоченные ерниковые днищ долин, 14. Долинные ивовые, 15. Конусов выноса сосновые травяные, 16. Ложноподгольцовые; *Горно-степные*: 17. Склоновые остепненные.

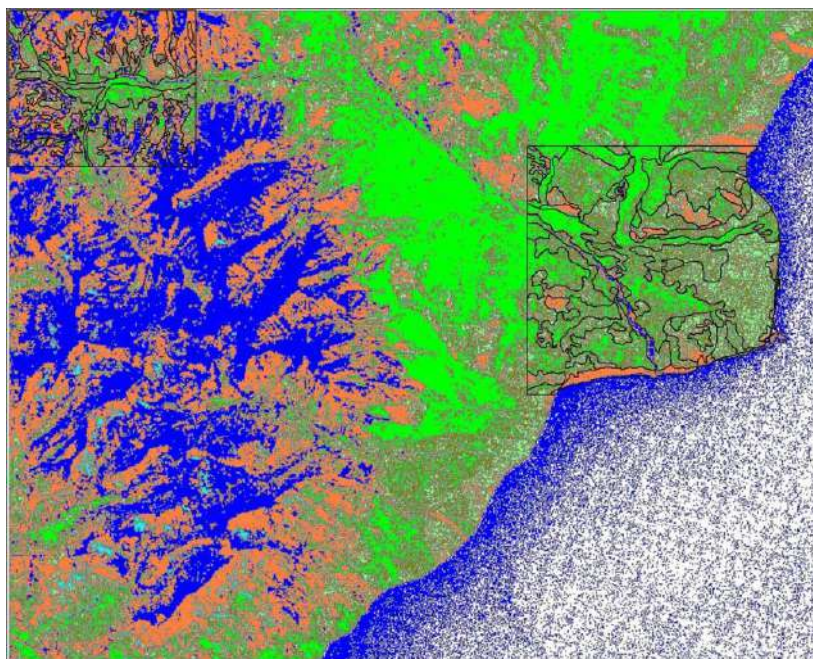


Рисунок 3.13. Классифицированное изображение NDVI, совмещенное с контурами ландшафтных выделов, полученных в ходе экспедиционных исследований на территории Куркулинского ключевого участка на юго-восточном макросклоне Байкальского хребта.

Прогресс в области развития компьютерных информационных технологий позволяет упростить процедуры выявления, распознавания и определения характеристик объектов местности, их свойств и взаимосвязей на космических снимках и перейти от визуального к автоматизированному дешифрированию, что в значительной мере ускоряет проведение географического анализа изображений. Опыт автоматизированного распознавания ДДЗ показывает, что заранее практически невозможно установить, какой алгоритм будет лучше с точки зрения соотношения точности классификации и полноты данных. Использование зависимости между отношением растительных сообществ к фактору увлажнению и их спектральными характеристикам, с применением ЦМР позволяют путем интерполяции картировать территории, неохваченные наземными исследованиями [Владимиров, Сороковой, Кобылкин, 2010; Vladimirov et al., 2015]. Такого рода исследования не только дают возможность создавать весьма богатые по содержанию тематические карты, но и позволяют улучшать достоверность интерпретации спутниковой информации.



На основе разработанной методики проведены исследования структуры растительного покрова Верхнеангарской котловины и ее горного обрамления, представленного Верхнеангарским и Северо-Муйским хребтами [Владимиров и др., 2014] (рисунок 3.14).

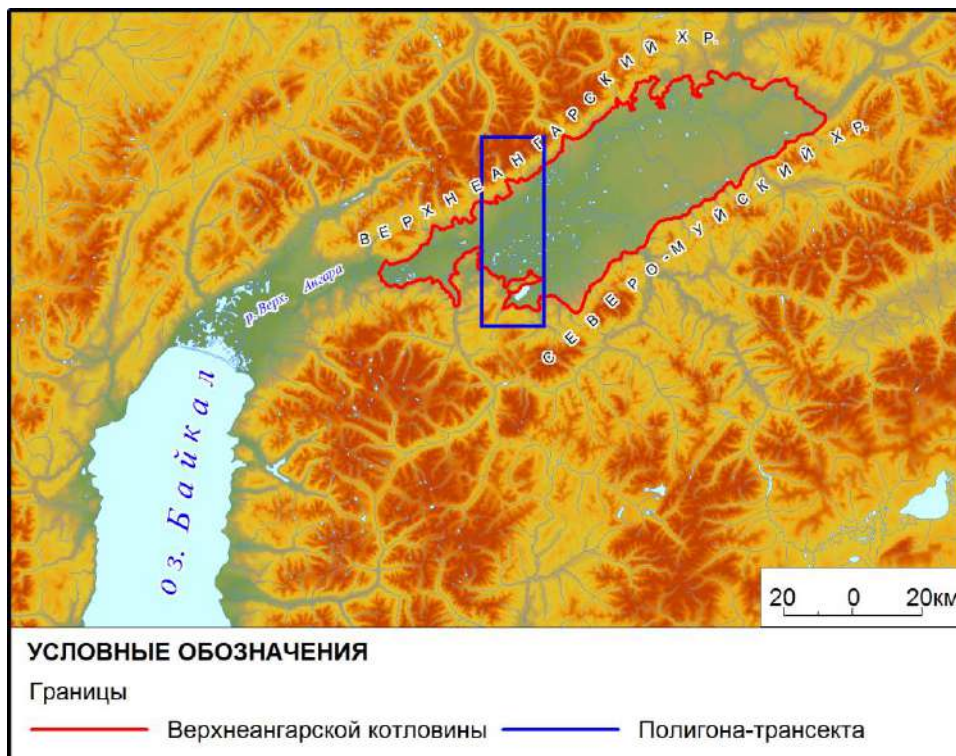


Рисунок 3.14. Географическое положение Верхнеангарского ключевого участка

Исследовательский интерес к данной территории вызван рядом важных объективных причин. Во-первых, Северное Прибайкалье является зоной взаимодействия (взаимопроникновения) семи крупнейших растительных фратрий формаций Северной Азии и ее важным биогеографическим рубежом [Владимиров, 2014]. Изучение структурно-динамических особенностей и закономерностей строения растительных сообществ в подобных переходных зонах является одной из важнейших задач географических исследований. Во-вторых, данный район все активнее вовлекается в хозяйственный оборот и становится объектом для решения прикладных задач географического прогнозирования и рационального природопользования.

Следует отметить, что в ландшафтном и геоботаническом отношении рассматриваемая территория является сравнительно слабо изученной, детальные исследования строения растительного покрова в регионе

практически не проводились.

Для исследования и оценки параметров растительного покрова Верхнеангарской котловины использовалась разнокачественная информация: 1) ДДЗ высокого пространственного разрешения (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+); 2) разномасштабные топографические карты (масштаб 1:100 000, 1:200 000); 3) данные радарной топографической съемки SRTM; 4) материалы государственного учета лесного фонда, лесотаксационные описания; 5) материалы экспедиционных исследований, собранные в 2009–2014 гг. на территории Северобайкальской и Верхнеангарской котловин [Софронов, Белов, 2011; Владимиров и др., 2014; Софронов и др., 2015]. Во время полевых маршрутных исследований, проводившихся во всех высотно-поясных подразделениях, выполнялись геоботанические описания доминирующих типов растительности.

Верхнеангарская котловина относится к котловинам байкальского типа и имеет субширотное простирание, по заложившимся в неогене тектоническим разломам внутриконтинентальной рифтовой зоны. Протяжённость котловины - более 100 км, средняя ширина - около 40 км. Днище плоское, заболоченное, с многочисленными излучинами и протоками р. Верхняя Ангара и её притоков. Район характеризуется высокой сейсмичностью и сплошным распространением многолетней мерзлоты.

Верхнеангарская котловина имеет сложное геологическое и геоморфологическое строение. Для выделения границ котловины был использован подход, предложенный В.Б. Выркиным [Снытко и др., 2003], и заключающийся в выделении крутизны склонов в следующих градациях: 5°, 5-10°, 10-15° и более 15°. При этом критической для выделения границ котловины взята крутизна в 10°. Граница проводилась в диапазоне 5° -15°, с использованием визуальных признаков, отраженных на данных дистанционного зондирования (верхние части конусов выноса, обрывы и др.). Таким образом, площадь полученного полигона составляет 3638 км<sup>2</sup>, а общий периметр - 507 км.

Днище котловины имеет неоднородный рельеф и делится на две части. Юго-западная часть представляет собой плоскую заболоченную равнину с

широкой совместной поймой рек Верхняя Ангара и Котера, с преобладанием устойчивого тектонического опускания. Северо-восточная часть более возвышена и включает в себя комплекс древних озерных и речных террас. [Геоморфология..., 1981]. Неоднородность рельефа днища обусловлена блоковым строением фундамента и разнонаправленными тектоническими движениями.

Рельеф окружающих хребтов резко расчлененный, преобладающие высоты 1500 – 2000 м над ур. м. Граница котловины и Верхнеангарского хребта контролируется крупным тектоническим разломом, представляющим собой сбросовый уступ, осложненный коллювиальными шлейфами, конусами выноса, наземными «дельтами» и участками конечных морен. Осевая часть хребта имеет хорошо выработанный альпинотипный рельеф. Реки, спускающиеся в котловину, характеризуются активной селевой деятельностью.

Ограничивающий котловину с юга, Северо-Муйский хребет имеет более сглаженные очертания. Южный борт котловины, в целом, выше, чем северный, представлен комплексом разновозрастных озерных, озерно-аллювиальных террас, поверхность которых существенно переработана эоловыми процессами.

В структуре современного экзогенного рельефообразования ведущая роль принадлежит флювиальным процессам, в меньшей степени - эоловым. Широкое распространение имеют также криогенные процессы [Выркин, 1992].

Климат исследуемой района - резкоконтинентальный. Лето короткое, умеренно теплое. Зима продолжительная, морозная. Годовое количество осадков составляет от 400 мм/год в предгорьях до 1000 мм/год в горах. Вся территория расположена в зоне распространения многолетней мерзлоты [Замана, 1980].

Горный характер преобладающего рельефа определяет поясную структуру растительности котловины и ее горного обрамления [Белов, 1984; Белов, Софронов, 2011; Владимиров и др., 2014; Софронов и др., 2015]. Высокогорная растительность распространена на высотах от 1300 – 1500 м

над ур. м. и выше. Высокогорные местообитания представлены скалистыми гребнями и каменистыми россыпями. Несмотря на некоторое физиономическое однообразие, растительный покров высокогорий обладает довольно сложной структурой. На крутых скалистых склонах и крупноглыбовых россыпях находятся лишайниковые сообщества. Выположенные участки высокогорий, вершины с плавными и округлыми формами и на щебнистых субстратах занимают вересково – лишайниковые тундры с единичными экземплярами угнетенного кедрового стланика (*Pinus pumila*). Осоково-разнотравные луга покрывают задернованные берега высокогорных озер и альпинотипные луга.

В нижней части высокогорного пояса широкое распространение имеют кустарничково-лишайниковые тундры с перемежающимися разреженными кедровостланиковыми кустарничково-лишайниковыми сообществами с участием березы тощей (*Betula exilis*).

Пояс подгольцовой растительности образован зарослями кедрового стланика с включением лиственничных редколесий. В составе кедровостланиковых ассоциаций наиболее широкое распространение имеют стланиково-березово-кустарничково-кустарничково-лишайниковые сообщества с редкими экземплярами лиственницы, в качестве примеси могут отмечаться единичные сосны и кедр.

Основную долю таежного пояса образуют лиственничные леса на высотах 500 – 1100 м над ур. м.

В верхней части лесного пояса располагаются лиственничные леса с сосной и кедром душекиево-рододендрово-кустарничково-мелкотравно-зеленомошные с редкими елью и пихтой.

В средней и нижней частях лесного пояса на склонах южной экспозиции широкое распространение получили лиственничные и сосново-лиственничные душекиево-рододендрово-бруснично-зеленомошные леса с участием кедрового стланика. Темнохвойные сообщества из кедра и ели с единичными экземплярами пихты бруснично-мелкотравно-зеленомошные преобладают в средней части горно-таежного пояса, в долинных лесах и в тенистых подгорных местообитаниях. На крутых сухих склонах находятся

сосновые и лиственнично-сосновые редкотравные леса с душекией (*Duschekia fruticosa*) и рододендроном даурским (*Rhododendron dauricum*) в подлеске [Софронов, 2015].

В долинах горных рек, в пойменных и прибрежных местообитаниях, растительность представлена, в основном, чозениево-тополево-кедрово-еловыми высокотравными сообществами. В хорошо выраженной долине р. Амнунда, притоке оз. Иркана, распространены ерниково-травяные ассоциации с редкими лиственницами и елями.

На исследуемой территории большие площади заняты вторичными осиново-березовыми и березово-осиновыми кустарниково-травяными лесами на местах гарей. Широкое распространение вторичных лесов были отмечены еще первыми исследователями растительности котловин В.Н. Сукачевым и Г.И. Поплавской в 1913 г. [Сукачев, 1913; Поплавская, 1913]. Данный факт связан с образом жизни местного населения Северного Прибайкалья, выжигавшего обширные площади лесов [Поварницын, 1937]. С началом строительства Байкало-Амурской магистрали антропогенное воздействие на природные геосистемы усилилось, и в настоящее время, во многих случаях, достаточно трудно установить коренную растительность в нарушенных сообществах.

Пойменная часть Верхнеангарской котловины, подвергающаяся регулярным затоплениям в период половодья и покрытая многочисленным количеством протоков, озер, стариц, как сама р. Верхняя Ангара, так и крупный приток - р. Котера, заняты переувлажненными лугово-болотными комплексами с участием сосновых и лиственничных лесов с зарослями кустарников.

В растительном покрове поймы рек Верхняя Ангара и Котера наиболее широкое распространение получили лугово-кустарниковые комплексы, представляющие первичный тип растительности, что обусловлено водным режимом реки, затрудняющим развитие древесной растительности [Поварницын, 1937].

Первая надпойменная терраса возвышается над уровнем р. Верхняя Ангара на 1,5 – 2,5 м и в период паводков, либо в дождливые года летом и

осенью заливается водой, что вызывает обширное переувлажнение территории, в частности в междуречьях рр. Котера - Верхняя Ангара и Верхняя Ангара – Кичера [Софронов, 2015], занимаемые луговыми комплексами, лугово-болотными сообществами, болотами и заболоченными лесами.

На пониженных местообитаниях с застойным увлажнением произрастают почти чистые сообщества хвоща зимующего (*Equisetum hyemale*) и осоки пузырчатой (*Carex vesicata*) и др. В луговой растительности на более возвышенных местообитаниях преобладает вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorfii*), осоки, отмечается луговое разнотравье – хвощи, лютики (*Equisetum pratense*, *E. palustre*, *Ranunculus sp.*) и др. Вдоль проток часто распространены чистые заросли ольхи пушистой (*Alnus hirsuta*) и рошцы из чозении (*Chosenia arbutifolia*) [Владимиров и др., 2014].

На 1 – 2 террасах, сложенных песчаными отложениями, развиваются сосновые леса с участием в кустарниковом ярусе ив, березы, ольхи, свиды белой, шиповника бруснично-разнотравные. На пылевато-супесчаных почвах распространены лиственничные бруснично-моховые леса. К торфяно-болотным почвам приурочены заболоченные низкостелетные лиственничные леса.

Степная растительность в исследуемом районе представлена в виде разнотравно-злаковых сообществ на крутых склонах южной экспозиции. Наибольшее распространение они получили в окрестностях оз. Иркана, на склонах в окружении сухих сосновых лесов.

С целью обеспечения сопоставимости и возможности совместного анализа индикаторов состояния растительности, получаемых по спутниковым данным высокого пространственного разрешения, снижения влияния случайных факторов, а также удобства пространственного моделирования в среде ГИС, была использована методика, предполагающая совместное применение индексов NDVI и NDWI, ЦМР на основе SRTM, данных лесоустройства и материалов проведенных экспедиционных исследований (см. рисунок 3.4) [Владимиров и др., 2014].

По результатам проведенных исследования растительности

Верхнеангарской котловины была составлена карта современного растительного покрова на ключевой полигон-трансект (р. Агней - оз. Иркана) масштаба 1: 50 000 (рисунок 3.15). Созданная карта охватывает центральную часть котловины, включая ее северный и южный склоны. Принцип, положенный в основу такой ориентации картируемой территории, заключается во включении всех поясов растительности, а также основных растительных сообществ района исследования. Структура легенды карты опирается на принципы многоступенчатой классификации растительности, разработанной В.Б. Сочавой [1978; 1979].

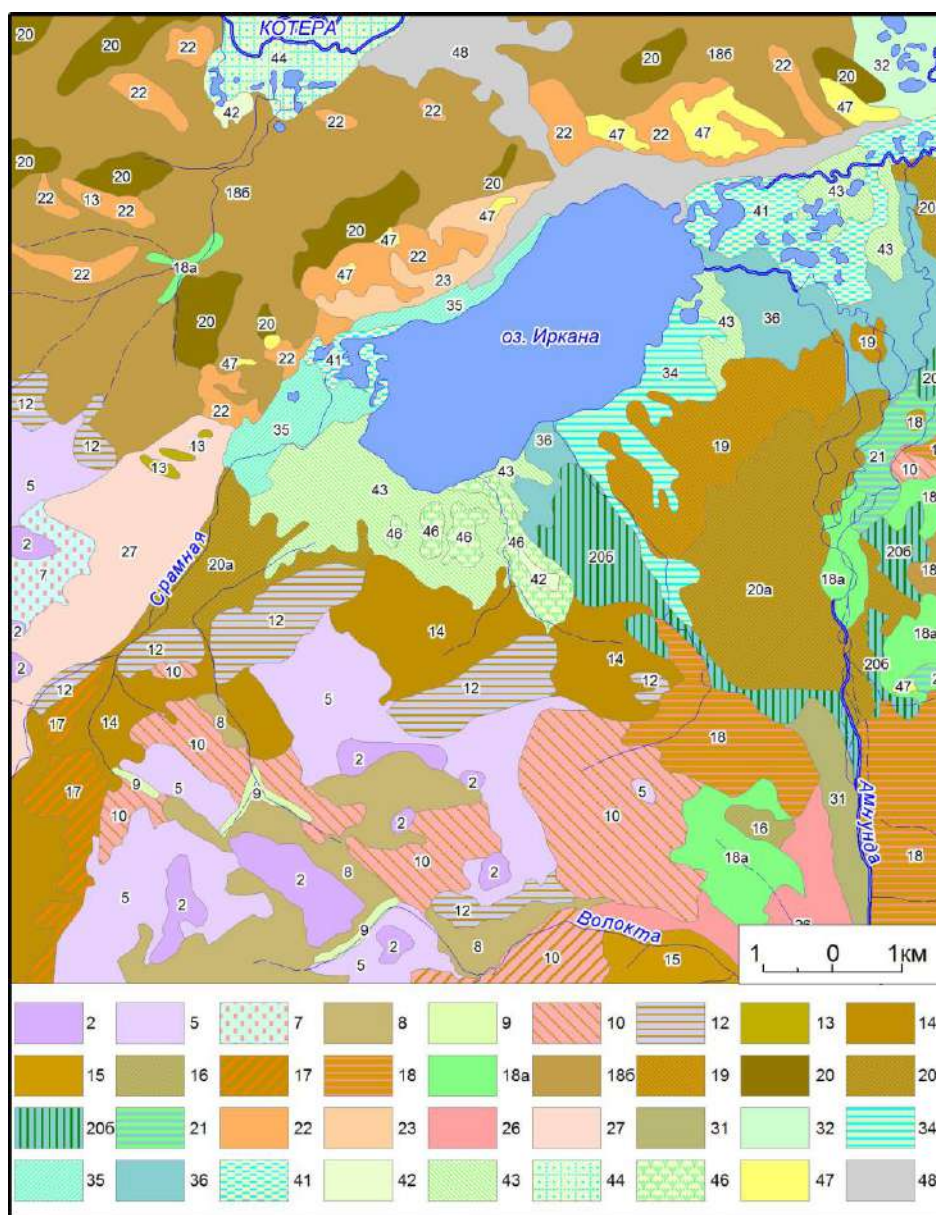


Рисунок 3.15. Фрагмент карты растительности Верхнеангарской котловины

Легенда к карте растительности Верхнеангарской котловины

## ВЫСОКОГОРНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

### Горные тундры

1. Скалистые гребни и каменистые осыпи с лишайниковым (*Alectoria ochroleuca*, *Cetraria islandica* и др.) покровом и редкими куртинами кедрового стланика (*Pinus pumila*).
2. Каменистые россыпи с лишайниковым покровом (*Cladonia alpestris*, *C. sylvatica*) и редкими куртинами кедрового стланика и ерника (*Betula rotundifolia*, *B. divaricata*) на сглаженных вершинах.
3. Травяные (*Carex bigelowii* subsp. *ensifolia*, *Campanula dasyantha*, *Bergenia crassifolia*)-багульниково (*Ledum palustre* subsp. *decumbens*)-мохово-лишайниковые сообщества на склонах средней крутизны.
4. Кустарниковые (*Betula rotundifolia*, *Salix krylovii*, *Duschekia fruticosa*, *Sorbaria pallasii* и др.) кустарничково (*V. uliginosum* subsp. *microphyllum*, *Rhododendron aureum*)-травяные (*Bergenia crassifolia*, *Rheum compactum*) ассоциации на прибрежных участках горных ручьев в пределах тундр.
5. Кустарничково (*Rhododendron aureum*, *Cassiope ericoides*)-лишайниковые тундры с участками ерника, кедрового стланика и редкими низкорослыми лиственницами (*Larix dahurica*) на каменистых россыпях.

### Альпинотипные луга

6. Субальпинотипные осоково (*Carex saxatilis* ssp. *laxa*)-разнотравные (*Trollius kytmanovii*, *Aquilegia glandulosa*, *Bergenia crassifolia*, *Veratrum lobelianum* и др.) луга.

## ТАЕЖНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

### Подгольцовые сообщества

7. Разреженные кедровостланиковые куртины с брусничкой на каменистых и скальных выступах южных экспозиций с березой (*Betula ermanii* subsp. *lanata*) и душекией в теневых местах.
8. Ерники (*Betula rotundifolia*, *B. divaricata*) моховые с редкими елями (*Picea obovata*) и лиственницами.
9. Прирусловые кустарниковые (*Betula ermanii* subsp. *lanata*, *Salix krylovii*, *Duschekia fruticosa*) заросли разнотравные (*Aconitum rubicundum*, *Angelica saxatilis*, *Veratrum lobelianum*, *Cacalia hastata* и др.).
10. Кедровостланиковые сообщества с редкой лиственницей (*Larix dahurica*) вересково (*Rhododendron aureum*, *Cassiope ericoides*, *Vaccinium vitis-idaea*)-багульниково-мохово (*Pleurozium schreberi* и др.)-лишайниковые с вкраплением ерниковых и ольховниково-березовых (*Betula ermanii* subsp. *lanata*) сообществ.
11. Березово (*Betula platyphilla*)-лиственничные редколесья ерnikово-моховые с кедровым стлаником.
12. Лиственничные багульниково-бруснично-ягельниковые (*Cladonia alpestris*) редколесья на каменистых россыпях крутых склонов теневых экспозиций.
13. Редкостойные сосново (*Pinus sylvestris*)-лиственничные (*Larix dahurica*) сообщества с ксерофитным кустарничково (*Spiraea media*, *Cotoneaster melanocarpus*)-травяным (*Youngia tenuifolia*, *Alyssum lenense*, *Agropyron cristatum* и др.) покровом на каменистых россыпях южных экспозиций.

### Горно – таежные сообщества

#### А. Леса

##### Леса теневых склонов

14. Лиственничники багульниково (*Ledum palustre*)-мохово-лишайниковые с кедровым стлаником и березой на теневых пологих склонах часто с присутствием бадана (*Bergenia crassifolia*).
15. Лиственнично-кедровые багульниково-баданово (*Bergenia crassifolia*)-моховые



леса с кедровым стлаником.

16. Редкостойные лиственничные сообщества ерничково-багульниково-моховые с кедровым стлаником на каменистых россыпях в средней части лесного пояса.

17. Разреженные сосново-лиственничные леса кедровостланиково-бруснично-лишайниковые.

18. Кедрово-лиственничные багульниково-кустарничково-мелкотравно (*Trientalis europeae*, *Linna borealis*, *Maianthemum bifolium*)-моховые сообщества с кедровым стлаником в подлеске.

18а. Мелколиственные осиново (*Populus tremula*)-березовые кустарничково (*Duschekia fruticosa*, *Rhododendron dauricum*)-высокотравные (гари).

18б. Лиственничники с березой рододендронов (*Rhododendron dauricum*)-багульниково-моховые (*Polytrichum ssp.*) (гари).

19. Сосново-мелколиственно-лиственничные рододендроново-мохово-лишайниковые леса.

20. Лиственничники душекиево-рододендроново-багульниково-моховые.

20а. Лиственнично-березовые багульниково-моховые леса (рубки).

20б. Березовые рододендроново-шиповниково (*Rosa acicularis*)-разнотравные ассоциации (гари).

21. Лиственнично-осиново-березовые сообщества в сочетании с луговыми ассоциациями.

#### *Леса освещенных и полутеневых склонов*

22. Сосновые леса на южных склонах средней крутизны с редким подлеском из рододендрона даурского.

23. Сосновые душекиево-рододендровые бруснично-разнотравно (*Artemisia tanacetifolia*, *Lathyrus humilis* и др.) -моховые леса на выположенных подгорных шлейфах.

24. Лиственнично-сосново-березовые рододендроново-бруснично-мелкотравные леса с ольховником в подлеске.

25. Лиственнично-березово-тополево-сосновые ольховниково-свидино (*Swida alba*)-травяные ассоциации.

26. Комплекс кедрово-лиственничных багульниково-моховых ассоциации с вкраплением сосновых рододендроново-брусничных лесов.

27. Комплекс сосново-березово-осиново-лиственничных кедровостланиково-рододендроново-разнотравных ассоциаций с участием кедрово-лиственничных багульниково-кустарничково-моховых сообществ с кедровым стлаником.

28. Кедрово-лиственничные кустарничково-моховые ассоциации.

29. Долинные кедрово-елово-лиственничные кедровостланиково-багульниково-бруснично-зеленомошные сообщества.

30. Лиственничные кедровостланиково-бруснично-зеленомошные ассоциации.

#### *Горно-долинные сообщества*

31. Долинные ерничково-травяные ассоциации с редкими лиственницами и елями.

#### *Подгорно-котловинные сообщества.*

##### *А. Леса*

32. Комплексы с преобладанием березово-кустарничковых (*Salix bebbiana*, *S. rorida* и др., *Alnus hirsuta*) ассоциаций в сочетании с вейниковыми и осоковыми (*Carex acuta*) лугами.

33. Кедрово-лиственнично-мелколиственные кустарничково-травяные леса

34. Переувлажненные березовые кустарничково-травяные леса.

35. Березовые леса в сочетании с переувлажненными лугово-болотными ассоциациями.

36. Березняки разнотравные (*Actaea erythrocarpa*, *Maianthemum bifolium*, *Aegopodium*

*alpestre, Lilium pilosiusculum, Paris verticillata*) с лиственницей.

37. Долинные елово (*Picea obovata*)-чозениево (*Chosenia arbutifolia*)-тополевые (*Populus suaveolens*) сообщества кустарниково- травяные.

38. Сосновые рододендрово-толокнянково-бруснично-лишайниковые сообщества на песчаных буграх.

39. Комплекс прирусловых кедрово-лиственнично-еловых сообществ в сочетании с сосново-кустарничковыми на песчаных почвах с примесью кустарниковых ольхово-березово-травяных сообществ.

40. Комплексы заболоченных лиственничников, чозениево-ольховых сообществ в сочетании с переувлажненными осоково-вейниковыми лугами.

Б. Комплексы лугов, лугово-болотных и кустарниковых сообществ поймы

41. Заболоченные переувлажненные ситовниковые (*Scirpus radicans; S. validus*) луга.

42. Злаково (*Calamagrostis landsdorffii, Alopecurus arundinaceus* и др.)-разнотравные (*Geranium krylovii, Achillea millefolium, Veronica incana* и др.) луга.

43. Заболоченные луга с участками хамедафно (*Chamaedaphne calyculata*)-багульниково-сфагновых сообществ на мерзлотных буграх.

44. Комплексы осоковых лугово-болотных и прирусловых ивовых сообществ.

45. Сочетание вейниковых переувлажненных задернованных лугов с березовыми колками, ивовыми сообществами и заболоченными осоково-моховыми лиственничниками.

46. Комплексы кустарниково-осоково-травяно-моховых болот в сочетании с травяными сообществами, с участием угнетенной сосны и березы.

#### СТЕПНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Горносклоновые степные сообщества

47. Остепненные (*Thymus pavlovii, Festuca lenensis, Pulsatilla turczaninovi, Artemisia sericea, Youngia tenuifolia, Alyssum lenense, Agropyron cristatum* и др.) склоны.

#### РАСТИТЕЛЬНОСТЬ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

48. Пашни.

Классификационной единицей в легенде выступает группа ассоциаций, объединяющая, за некоторым исключением, сообщества по сходству состава видов эдификаторов и доминантов для выявленных в сообществе ярусов растительности [Владимиров и др., 2014]. Двурядная система классификации подразумевает объединение растительных сообществ на основании принципов гомогенности и гетерогенности [Сочава, 1979]. Группы ассоциаций, выделенные для лесных сообществ по ряду фитоценомеров, в легенде совмещены с рядом фитоценозов для высокогорных сообществ и лугово-болотных ценозов пойменной части долины р. Верхняя Ангара, по причине невозможности отображения их в выбранном масштабе. Таким же образом были объединены в комплекс лесные сообщества подгорного шлейфа Верхнеангарского хребта и некоторых других территорий,

характеризующиеся высокой степенью нарушенности коренных сообществ и широким распространением на их месте вторичных мелколиственных лесов. Данный факт в значительной степени затрудняет типизацию растительных сообществ. В случае определения коренной растительности для производных сообществ последние вынесены в легенде в соподчиненные номера.

Антропогенно-нарушенные земли с полностью или частично разрушенной естественной растительностью вынесены в легенде в отдельный номер, без указания коренной растительности.

Структура легенды является несколько упрощенной в сравнении со схемой классификации, вследствие невозможности отобразить на карте все признаки состава и структуры растительности в данном масштабе. При классификации растительности мы отказались от выделения фратрий формаций по причине сравнительно небольшого размера картируемого района.

Структурно-динамический принцип анализа растительности, разработанный В.Б. Сочавой [1978], и нашедший развитие в работах А.В. Белова, И.С. Ильиной, Л.П. Соколовой, А.П. Софронова и др. [Белов, Соколова, 1999; 2010; Софронов, 2015], остается актуальным и на новом технологическом уровне исследований.

Полученная информация о составе, структуре и динамике современной растительности геосистем, выраженная посредством картографического ГИС-моделирования, представляет собой основу для системной оценки растительности: ресурсной, средоформирующей, средозащитной и др. [Белов, Соколова, 2010] и может выступать в качестве базиса для оценки экологического потенциала территории [Владимиров и др., 2014]. Полученная карта растительного покрова отражает основное структурно-ценотическое разнообразие растительного покрова Северного Прибайкалья, слабо трансформированного антропогенным влиянием региона, и может служить основой для выявления причин и путей развития растительности в условиях естественной и антропогенной динамики. Полученные результаты убедительно демонстрируют, что геоботаническое картографирование на

основе геоинформационных технологий имеет важное значение при проведении комплексных географических работ, центральным моментом которых является оценка современного состояния растительности и экологического потенциала геосистем.

### **3.2. Естественная динамика геосистем как механизм формирования экологического потенциала**

Одним из способов исследования и моделирования динамики геосистем является исследование одного компонента геосистемы в среде геосистемы (на фоне остальных компонентов). В большинстве случаев, таким компонентом выступает биота (а точнее, растительность). Необходимо уточнить, что «...биота - сложный блок (или несколько блоков) геосистемы, во многих случаях ее критический компонент. Одновременно биота в пределах геосистемы образует и особую совокупность связей (биологически наиболее значимую), заключающую главнейшие факторы, воздействующие на ее структуру... По разным причинам - объективным и субъективным, говоря о биоте, мы часто имеем в виду преимущественно ее растительный ингредиент» [Сочава, 1980, с. 134].

Динамика геосистем является механизмом формирования экологического потенциала. Динамику геосистем предпочтительнее изучать на наиболее изменчивых геосистемах. С позиций индикации конкретных процессов и возмущающих воздействий все геосистемы могут быть определены как индифферентные или незначимые для индикации и геосистемы-индикаторы [Винокуров, Ротанова, Черных, 2005; Черных, 2012]. Под геосистемами-индикаторами понимаются геосистемы, анализ структуры и функционирования которых позволяет получить максимум информации о рассматриваемых процессах [Черных, 2017]. Наглядным примером индикаторов являются высокогорные геосистемы. Чувствительным и информативным элементом динамики высокогорных геосистем является верхняя граница произрастания древесных растений. В последнее время,

анализ динамики верхней границы леса привлекает к себе особое внимание в связи с проблемой климатических изменений. Высокогорные лесные сообщества являются идеальным объектом для исследования реакции растительности на климатические изменения. Предполагаемое смещение верхней границы распространения лесов рассматривается, как одно из возможных последствий глобального изменения климата и связано с тем, что лесные сообщества на верхнем пределе своего произрастания находятся в более жестких климатических условиях и начинают раньше реагировать на изменение климата по сравнению с сообществами, расположенными на более низких высотах.

В ряде публикаций установлено проникновение древесной растительности в тундру, как на северной, так и на высотной границах леса, а также возрастание сомкнутости притундровых лесов и увеличение радиального прироста деревьев в последние десятилетия [Харук и др., 2004; Шиятов, Терентьев, Фомин, 2005; Шиятов и др., 2007; Arno, Hammerly, 1984; Wang et al., 2016]. Факты подъема лесной растительности в конце XX-начале XXI века зарегистрированы на Урале [Фомин и др., 2007; Шиятов, Мазепа, 2007], Альпах [Walter et al., 2002], в высокогорьях Канады [Kearney, 1982; Lavoie, Paeytte, 2002] и США [Jakubos, Romme, 1993; Lloyd, Graumlich, 1997; Taylor, 1995; Weisberg, Baker, 1995; Woodward, Schreiner, 1995], Швеции [Kullman, Engelmark, 1997; Kullman, 2002, 2007; Kullman, Öberg, 2009], Новой Зеландии [Wardle, Coleman, 1992] и Африки [Shugart et al., 2001].

Территорией исследования динамики верхней границы леса выбрана центральная часть Байкальского хребта (верховья рек Куркула Ленская, Куркула Байкальская, Молокон). Байкальский хребет - горный хребет в Прибайкалье, на территории Иркутской области и Бурятии. Высшая точка - Гора Черского (2572 м над ур. м.), преобладающие высоты хребта - 1900-2200 м над ур. м. Склоны до 900-1000 м над ур. м. занимает лесостепь и сосновый бор, выше темнохвойная тайга. В средней и северной части преобладает лиственничная тайга. Выше 1400 м над ур. м. преобладает

лиственничное редколесье. В условиях наибольшей влажности климата (на западном склоне Байкальского хребта) усиливается роль темнохвойных пород: *Abies sibirica*, *Picea obovata*, *Pinus sibirica*. По данным Н.С. Водопьяновой и др. [Высокогорная флора..., 1972] во влажном климате Северного Прибайкалья граница леса проходит на высоте 1100 - 1300 м над ур. м. и образована темнохвойными породами, в основном пихтой и елью, в условиях сухого климата она проходит на высоте 1700-1900 м над ур. м. В районах, занимающих промежуточное по влажности климата положение, лесной пояс тянется до высоты 1500-1600 м над ур. м. Верхнюю лесную полосу образуют насаждения лиственницы, а также кедра и ели, в некоторых случаях общая закономерность нарушается влиянием условий рельефа. На очень крутых каменистых склонах граница леса проходит ниже своего климатического уровня. Влияет также экспозиция склонов.

В настоящее время данный район малонаселен и практически не испытывает антропогенных нагрузок, что позволяет использовать его в качестве модельного участка для анализа динамики верхней границы леса.

Существует большое количество подходов и критериев к интерпретации верхней границы леса и, в частности, распространения древесной растительности. Выделяют границу сомкнутых лесов, границу редколесий и парковых лесов, границу криволесий, границу отдельных деревьев [Зибзеев, Седельников, 2010; Tranquillini, 1979; Arno, Hammerly, 1984; Smith, Johnson, Reinhardt, 2009]. Прежде всего, рассматривается граница как переход между лесными и безлесными пространствами (*timberline*). Затем граница леса (*forestline*), как предел непрерывных лесов. Там, где переход резок, эти две границы совпадают между собой. Крайний предел распространения прямостоячих деревьев известен как древесная граница (*treeline*). Её обычно образуют рассеянные группы деревьев или их отдельно стоящие экземпляры. Подчас трудно решить, считать ли за деревья, искривленные низкорослые древесные формы, не превышающие 2 - 3 м высоты, именуемые немецким термином «круммхольц». Обычно их группы

состоят из одного или двух деревьев, в центре обрамленных юбкой ветвей и горизонтально простирающихся корней. За границей крумholz (krumholz line) деревья не превышают высоты кустарниковых зарослей. Их распространение ограничено границей кустарниковых зарослей (scrub line).

Наиболее информативными являются верхние пределы распространения лесной растительности и отдельных деревьев. Единичные деревья, растущие на 50–100 м выше сомкнутых насаждений, угнетенные, но тем не менее плодоносящие, являются тем материалом, за счет которого начинают формироваться лесные сообщества при улучшении климатических условий [Зибзеев, Седельников, 2010].

Главным фактором глобальных изменений является потепление климата, наблюдающееся с 1970-х гг. Линейный тренд среднегодовой температуры за период 1976-2016 гг. составил для Земного шара  $+0,16^{\circ}\text{C}/10$  лет, для Северного полушария -  $+0,32^{\circ}\text{C}/10$  лет, для территории РФ -  $+0,45^{\circ}\text{C}/10$  лет. В Прибайкалье рост среднегодовой приповерхностной температуры с середины 70-х гг. характеризуется коэффициентом линейного тренда -  $+0,34^{\circ}\text{C}/10$  лет. Однако, характер потепления неодинаков в различные сезоны – зима  $+0,15^{\circ}\text{C}/10$  лет, весна  $+0,56^{\circ}\text{C}$ , лето  $+0,49^{\circ}\text{C}$ , осень  $+0,15^{\circ}\text{C}$ . В изменении годовых сумм осадков на территории Прибайкалья также наблюдается определенная тенденция к росту годовой суммы осадков. Коэффициент линейного тренда осредненных годовых сумм атмосферных осадков за 1976-2016 гг. (в % от нормы 1961-90 гг.) -  $+1,2\%/10$  лет, осредненных месячных сумм атмосферных осадков по сезонам (в % от нормы 1961-90 гг.) - зима  $+4,5\%/10$  лет, весна  $+6,3\%/10$  лет, лето  $+0,0\%/10$  лет, осень  $+2,2\%/10$  лет [Доклад об особенностях ..., 2017].

Анализ влияния изменений климата на динамику растительности возможен на основе временных рядов ДДЗ, позволяющих выявлять изменения растительного покрова, а также экстраполировать данные наземных наблюдений на региональный и субглобальный уровни [Кравцова, 2011; Харук и др., 2004; Rees et al., 2002].

Для оценки величин горизонтального и вертикального сдвигов границы лесной растительности, получаемых по спутниковым данным высокого пространственного разрешения, использовались данные дистанционного зондирования Landsat-MSS (08.07.1975) и Landsat-5 TM (23.08.2010). Изменения растительного покрова были определены с использованием индекса NDVI, рассчитанного по космическим снимкам (рисунок 3.16).

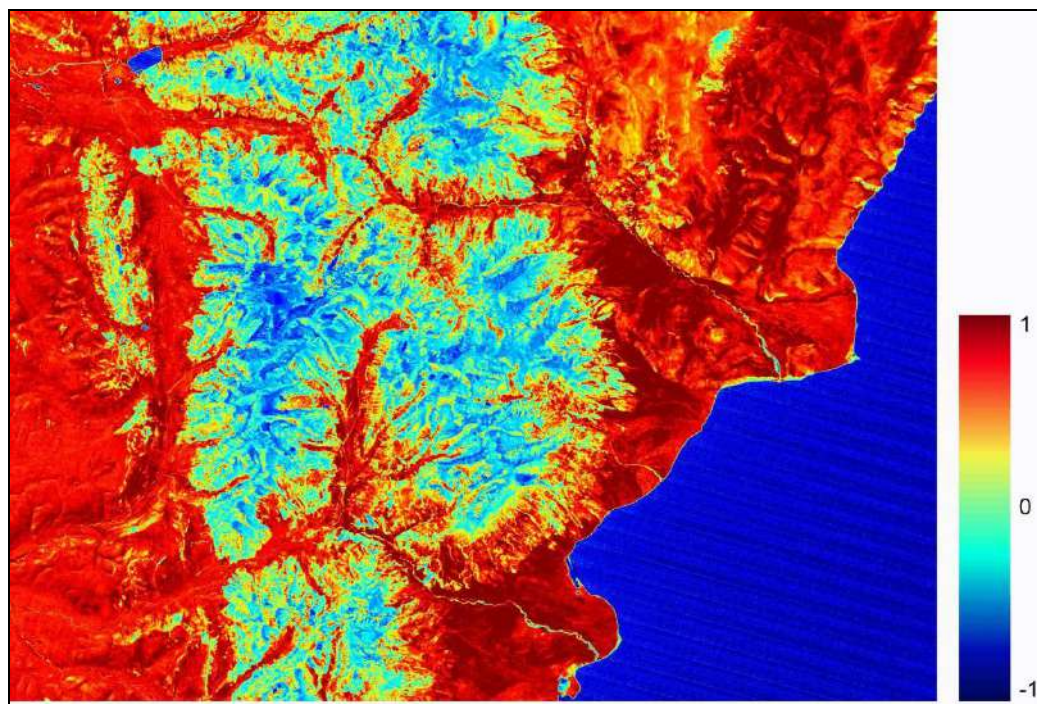


Рисунок 3.16. Рассчитанный NDVI по космическому снимку Landsat-5 TM (23.08.2010) на территорию центральной части Байкальского хребта (верховья рек Куркула Ленская, Куркула Байкальская, Молокон)

Использование нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений в видимой (красном диапазоне) и ближней инфракрасной области спектра при расчете NDVI позволяет четко отделять и анализировать растительные сообщества от прочих природных объектов увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр.

В качестве ЦМР использовалась ASTER GDEM 2 (рисунок 3.17), созданная на основе данных стереоскопической съемки в ближнем инфракрасном диапазоне усовершенствованного спутникового радиометра



теплового излучения и отражения ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) со спутника Terra. Пространственное разрешение ASTER GDEM - 1 угловая секунда (приблизительно 30 метров).

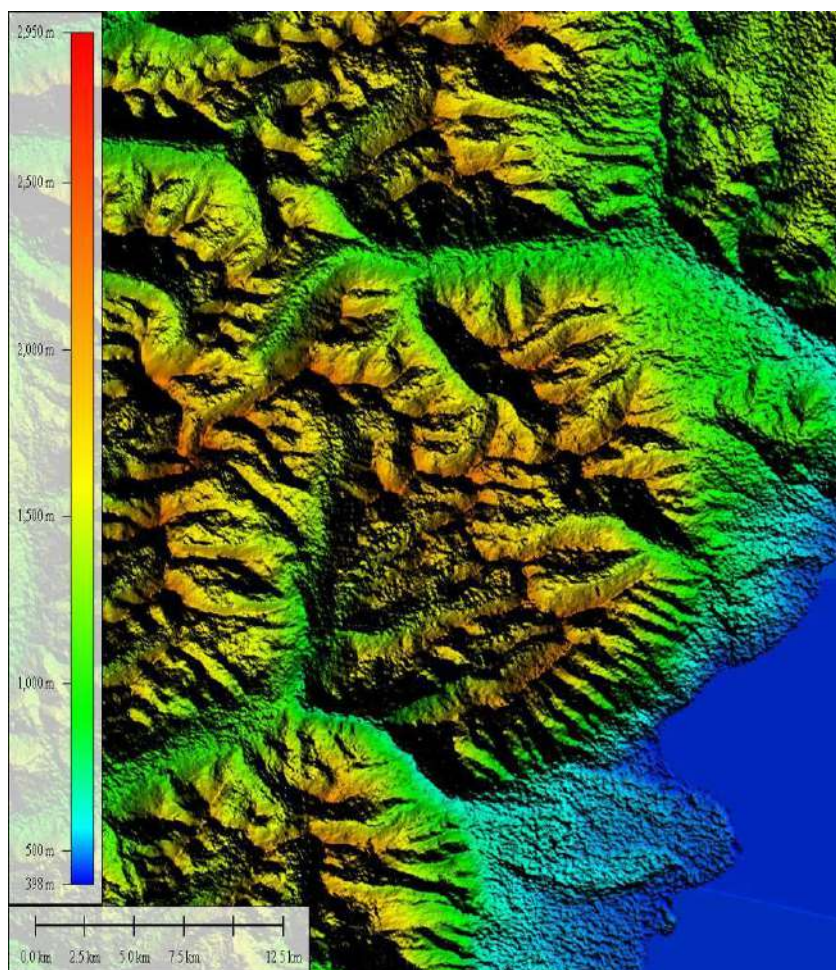
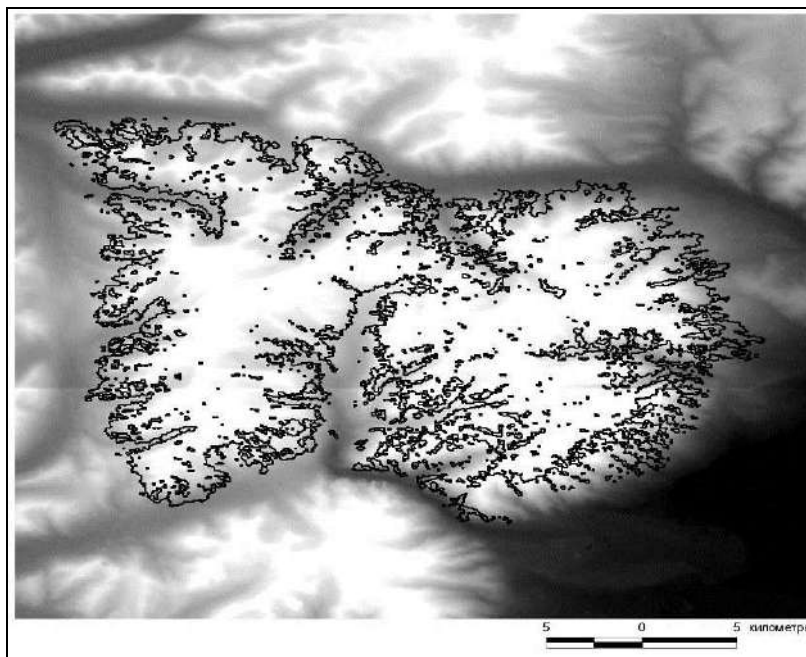


Рисунок 3.17. Цифровая модель рельефа ASTER GDEM 2 на территорию центральной части Байкальского хребта

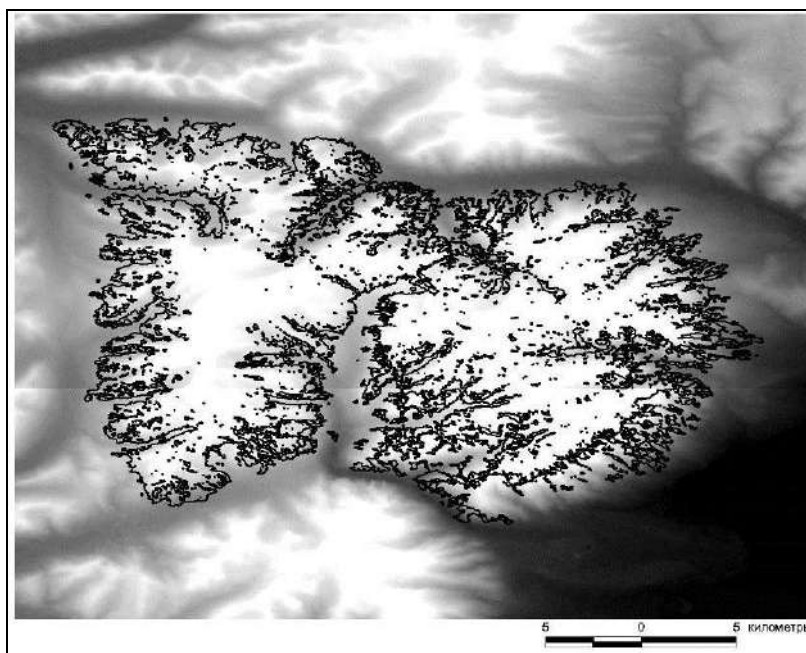
Анализ изменения растительного покрова с использованием разновременных космических снимков позволил выявить участки повышения значений вегетационного индекса NDVI, соответствующие увеличению густоты лесной растительности, на восточном макросклоне Байкальского хребта, обращенном к оз. Байкал. Удалось зафиксировать продвижение вертикальной границы леса вверх по склону до 20 м, горизонтальной – до 90 м (рисунок 3.18).

Изменения представлены не повсеместно, а лишь на отдельных участках южной и юго-восточной экспозиций. По всей вероятности, это

связано с повышением среднегодовой температуры и ростом годовых сумм осадков на территории Прибайкалья, особенно, необходимо отметить, что на склонах хребтов, обращенных к оз. Байкал, всегда выпадает большее количество осадков, зимы многоснежные, реже бывают заморозки, длиннее безморозный период.



*a)*



*б)*

Рисунок 3.18. Верхняя граница леса центральной части Байкальского хребта, рассчитанная по снимку Landsat на ЦМР ASTER GDEM: *a)* – 1975 г., *б)* – 2010 г.

В абсолютных числах, площадь необлесенных территорий на исследуемом участке в 1975 г. составила 377,96 км<sup>2</sup>, в 2010 г. - 374,67 км<sup>2</sup>. Изменение площади облесенных территорий в центральной части Байкальского хребта за 35 лет составило 0,9%. По результатам исследования можно сделать вывод, что климатические изменения за последние 40 лет - повышение температуры воздуха и увеличение количества атмосферных осадков - позволили занять лесной растительности новые местообитания, недоступные им ранее. Продвижение леса вверх по склонам Байкальского хребта произошло на отдельных участках южной и юго-восточной экспозиций восточного макросклона (рисунок 3.19).

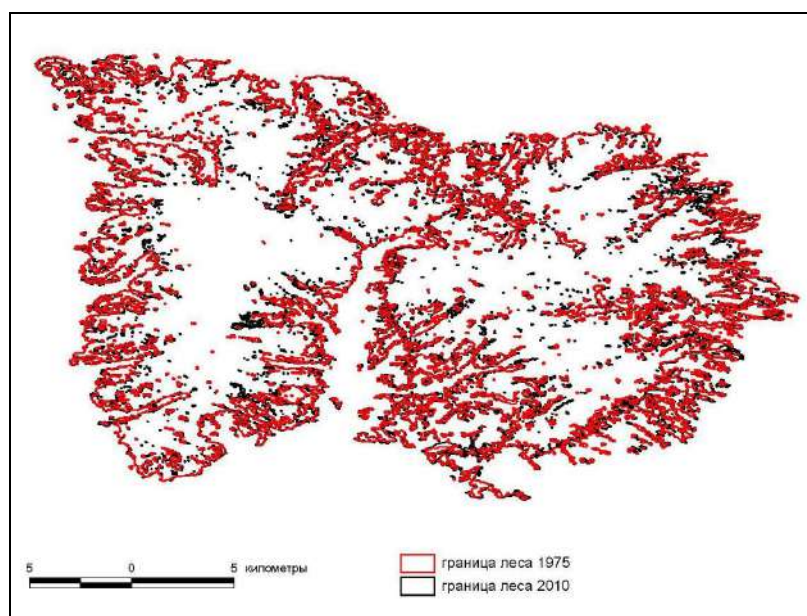


Рисунок 3.19. Совмещение контуров верхней границы леса в центральной части Байкальского хребта, рассчитанных по снимкам Landsat 1975 г. и 2010 г.

Как показывает опыт исследования динамики верхней границы леса на основе наземных и дистанционных методов [Лошкарева, 2011; Владимиров, 2014; Panigrahy et al., 2010; Singh et al., 2013] существуют определенные методические трудности решения этой задачи по дистанционным материалам. В связи с чем требуется разработка нового методического подхода к дистанционному исследованию динамики верхней границы леса.

Совместное использование разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения Landsat, вегетационного индекса NDVI, цифровой модели рельефа ASTER GDEM 2 позволяет проводить количественную оценку вертикального и горизонтального сдвига верхней границы леса за определенный период времени, связанного с возможными последствиями глобального изменения климата. На основе предложенной методики получены современные данные о динамике верхней границы леса в период изменения климата, в частности выявлено продвижение верхней границы леса на Байкальском хребте за последние полвека.

Изменение климата ведет к трансформации в высокогорьях структуры горно-лесных, горно-степных, гольцовых, горнотундровых, нивально-гляциальных геосистем и, соответственно, к изменению экологического потенциала геосистем. Все это мы можем наблюдать как смещение границы многолетней мерзлоты на север, подъем верхней границы леса в горах, расширение границы распространения древесной растительности, отступление ледников, уменьшение площади гольцовых геосистем. Таким образом, именно динамика геосистем является основным фактором (механизмом) формирования или изменения экологического потенциала геосистем.

### **3.3. Устойчивость геосистем как фактор формирования экологического потенциала геосистем**

Необходимой предпосылкой для правильного понимания геосистем как динамических систем служит представление об их инвариантном и преобразуемом началах. Инвариантное начало сохраняется неизменным при всех динамических преобразованиях. Преобразуемая часть геосистем находится в динамике. В.Б. Сочава считал, что понятие о динамике геосистем «целесообразно ограничить представлением о движении ее переменных состояний<sup>1</sup>, подчиненных одному инварианту в пределах эпифазии» [Сочава,

---

<sup>1</sup> Переменные состояния геосистем – различные модификации коренной фациальной структуры геоморфов, которые в процессе спонтанной динамики приходят к эквифинальному состоянию [Сочава, 1978, с. 296].

1978, с. 293]. Для каждого инварианта время, прошедшее с момента его возникновения в процессе эволюции ландшафтной сферы, считается возрастом геосистемы, а время существования каждого из переменных состояний одного инварианта на определенном участке поверхности - долговечностью геосистемы [Владимиров, 2004]. Понятие долговечности связано с понятием устойчивости.

Вопросы устойчивости геосистем и их компонентов привлекли особое внимание географов и экологов в 80-х годах XX века [Устойчивость..., 1983; Звонкова, 1985]. В работах тех лет рассматривались методологические вопросы теории устойчивости геосистем и экосистем, были определены основные направления исследований, отмечалась относительная новизна, актуальность и слабая научная разработанность этой важной проблемы [Преображенский, 1983; Куприянова, 1983].

Дальнейшее развитие исследования устойчивости получили в серии теоретических работ [Гродзинский, 1987; Бех, 1992; Титлянова, 1992; Механизмы..., 1992]. В этих работах были уточнены некоторые определения устойчивости, запаса устойчивости и подходы к его оценке, рассмотрены основные механизмы поддержания устойчивости геосистем и экосистем на локальном, региональном и глобальном уровнях их организации, критические состояния природных систем [Арманд, 1992; Тишков, 1992; Ибрагимов, 1995; Бех, Данченко, 2007]. Результаты, полученные в ходе данных исследований, послужили научно-теоретической основой для проведения работ по изучению антропогенной устойчивости лесных (таежных), степных, тундровых геосистем в рамках разных типов природопользования [Белов, Соколова, 2011; Владимиров, 2018].

Существует множество различных терминов и понятий, используемых для характеристики устойчивости географических и биологических систем [Арманд, 1983; Пузаченко, 1983; Одум, 1986; Гродзинский, 1987; Тишков, 1992; Чибелёв, 1998; Кочуров, 1999; Белов, Соколова, 2011; и др.].

При характеристике устойчивости природных систем используются термины «устойчивость», «стабильность», «гомеостатичность», «гомеостазис», «толерантность», «инертность», «статичность» и т.п. Применение указанных терминов остается произвольным. В большинстве случаев их толкование слишком широкое или отражает лишь отдельные аспекты сложного понятия «устойчивость» [Бех, Данченко, 2007].

В целом, утвердилось представление о том, что существует два альтернативных типа устойчивости [Одум, 1986; Титлянова, 1992; Росновский, 1993; 1997; 2001; Светлосанов, 2009; Коломыц, Шарая, 2013; Хорошев, 2016; Holling, 1973, 2004; Peterson, Allen, Holling, 1998; Ahern, 2013]: 1) «упругость» (*resilience*), а точнее упруго-пластичность геосистемы, как ее способность возвращаться к исходному состоянию после возмущения, воспроизводя свою структуру и функционирование (равновесная динамика), либо переходить в новое устойчивое состояние, близкое к первоначальному (неравновесная динамика), последнее соответствует представлению о гистерезисе - несовпадении прямой и обратной траекторий, невозможности возвращения геосистемы в исходное состояние [Нееф, 1974; Пузаченко и др., 1991; Хорошев, 2016], о неповторимости состояний природных территориальных комплексов [Мамай, 1997]; 2) «резистентность» (*resistance*) или «эластичность» геосистемы – ее нечувствительность к внешнему воздействию, которую связывают с понятием стабильности (*stability*); последнее отражает способность системы к поддержанию динамического равновесия в течение определенного времени, ее сопротивляемость перехода в другую систему путем поглощения воздействий. Сущность этого механизма устойчивости в том, что геосистемы способны чутко приспосабливаться как к меняющимся условиям внешней среды, так и к антропогенным нагрузкам, но в определенных рамках терпимости (толерантности). Устойчивость определяется шириной диапазона между максимальным и минимальным значением факторов, в пределах которого геосистема способна сохранять характерные для нее структурные и

функциональные особенности. Это положение соотносится с известным законом толерантности В. Шелфорда [Shelford, 1931] (рисунок 3.20).

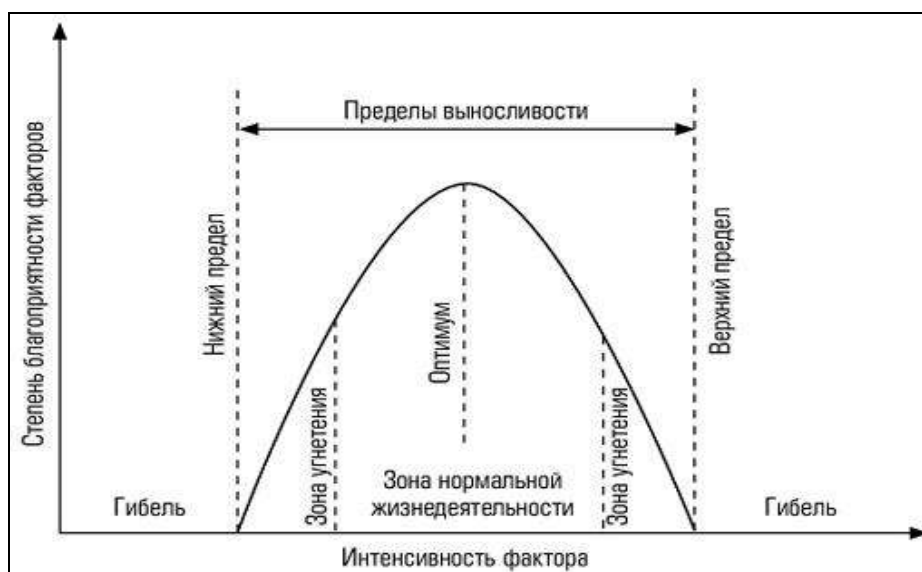


Рисунок 3.20. Зависимость действия экологического фактора от его интенсивности (закон толерантности В. Шелфорда)

В.Б. Сочава определял устойчивость геосистем как «...свойство сохранять занимаемые площади и восстанавливать структуру после нарушения геосистем внешними факторами» [Сочавва, 1967, с. 23]. «Устойчивость геосистем есть мера соответствия между составляющими временной структуры - нормальным функционированием, восстановлением, необратимым преобразованием качества» [Крауклис, 1979, с. 85].

В работе М.Д. Гродзинского [1983] отмечается, что все определения устойчивости систем обретают конкретность лишь в том случае, когда учитывается фактор, по отношению к которому оценивается устойчивость геосистемы, анализируемый временной интервал, а также состояния, в которых система способна оставаться в рамках одного инварианта. Сделана попытка обобщения форм устойчивости, сведя их к трем основным - «способности геосистем при внешнем воздействии сохранять свое состояние в течение заданного временного интервала неизменным, к способности восстанавливать после возмущения свое исходное состояние и к наличию у геосистемы нескольких состояний и ее способности переходить в случае необходимости из одного состояния в другое, сохраняя за счет этого инвариантные черты структуры» [Гродзинский, 1983, с. 6].

Уровни устойчивости геосистем или экосистем к внешним воздействиям определяются через уровни критических возмущений [Арманд, 1983; Тишков, 1992; Ибрагимов, 1995; Бех, Данченко, 2007], которые имеют различные определения, но их общий смысл выражается или в сохранности исходных структур и функций, или в их способности восстанавливаться при устранении внешнего возмущающего (деструктивного) воздействия на природную систему. Различия порогов устойчивости геосистем определяют в значительной степени механизмы их устойчивости [Белов, Соколова, 2009].

Сам механизм устойчивости определен структурой и функционированием геосистемы, и обусловлен устойчивостью отдельных компонентов и их взаимными связями [Дьяконов, Иванов, 1991; Гродзинский, 1995]. Каждому компоненту геосистемы принадлежит особая роль. Литогенная основа геосистемы обладает инерционностью, в сущности - пассивной устойчивостью, основанной на гравитационном равновесии - равновесии между силами сцепления твердых частиц и силой земного притяжения. Устойчивость форм земной поверхности объясняется силами сцепления внутри твердого материала, слагающего эти формы. В естественных условиях создается относительно устойчивое гравитационное равновесие, рельеф изменяется медленно и играет существенную, хотя и пассивную, стабилизирующую роль в геосистеме [Исаченко, 2003]. Тем не менее, рельеф подвержен интенсивному антропогенному воздействию, приводящему к нарушению устойчивого гравитационного равновесия, и тем самым усиливая денудационные процессы, вызывая дестабилизацию и необратимую трансформацию геосистем.

Биоту, а фактически растительность геосистем, следует рассматривать как антипод абиотического фундамента [Исаченко, 2003], в отличие от последнего растительность активно противостоит внешнему воздействию и относительно быстро восстанавливается после воздействий. Следовательно, растительному покрову геосистем присуща обратимость, и одновременно с этим, вариантность поведения (пластичность), что благодаря возможности вовлекать в круговорот косную материю, накапливать живую и мертвую фитомассу, приводит к основной стабилизирующей функции растительного покрова в механизме устойчивости геосистем.



В почве непосредственно пересеклись различные геосистемные связи и потоки. Почва, неся в себе, в определенной степени дестабилизирующие свойства, присущие литогенной основе, легко подвергается денудации при антропогенном воздействии. Одновременно, почва, выполняя важные буферные функции, является главным звеном в механизме геохимической устойчивости геосистем, имеющей прямую зависимость от способности почв к самоочищению. Устойчивость почвы к факторам антропогенного воздействия зависит от состояния других компонентов геосистемы, в частности, от растительности (развитости растительного покрова).

Наиболее мобильные компоненты геосистем, выполняющие транзитные функции, имеют своеобразную и во многом противоречивую роль в механизме устойчивости. Так, воздушные и водные потоки, вынося субстанцию из геосистемы, способствуют ее дестабилизации и уменьшают устойчивость к механическому воздействию, но одновременно удаляя из геосистемы техногенные примеси - повышают ее геохимическую устойчивость.

Устойчивость геосистем определяется свойствами, позволяющими противостоять внешним воздействиям и восстанавливать нарушенное равновесие, основную роль в этом играет растительный покров с его стабилизирующими функциями. Следует обратить внимание, что развитость растительного покрова обуславливает стабилизирующие или дестабилизирующие проявления других компонентов. Например, воздушный и водный компоненты геосистемы, по сути, не имеющие собственных механизмов устойчивости, подчиняются преимущественно внешним факторам, и поэтому могут представлять в геосистемах серьезную дестабилизирующую роль. Высокопродуктивный растительный покров вовлекает значительную часть циркулирующей в геосистеме воды во внутренний влагооборот, используя ее для создания биомассы и усиления биологического круговорота веществ, одновременно ослабляя дестабилизирующую роль водного компонента геосистемы и потерю химических элементов почвы.

Для определения устойчивости геосистем Байкальского региона рассчитаны средние величины (средняя арифметическая, медиана),

показатель вариации (среднее квадратическое отклонение) различных показателей геосистем ранга геомов – высота местности, экспозиция склонов, средние температуры июля и января, сумма осадков, первичная биологическая продуктивность (приложение 2), в определенных рамках терпимости (толерантности) установлены диапазоны значений (оптимальный, субоптимальный, пессимальный) для каждого фактора, в пределах которых геосистема способна сохранять характерные для нее структурные и функциональные особенности (приложение 3).

На основе полученных данных и соотнесения характеристик геосистем к определенному диапазону значений толерантности составлена карта устойчивости геосистем Байкальской Сибири (рисунок 3.21).

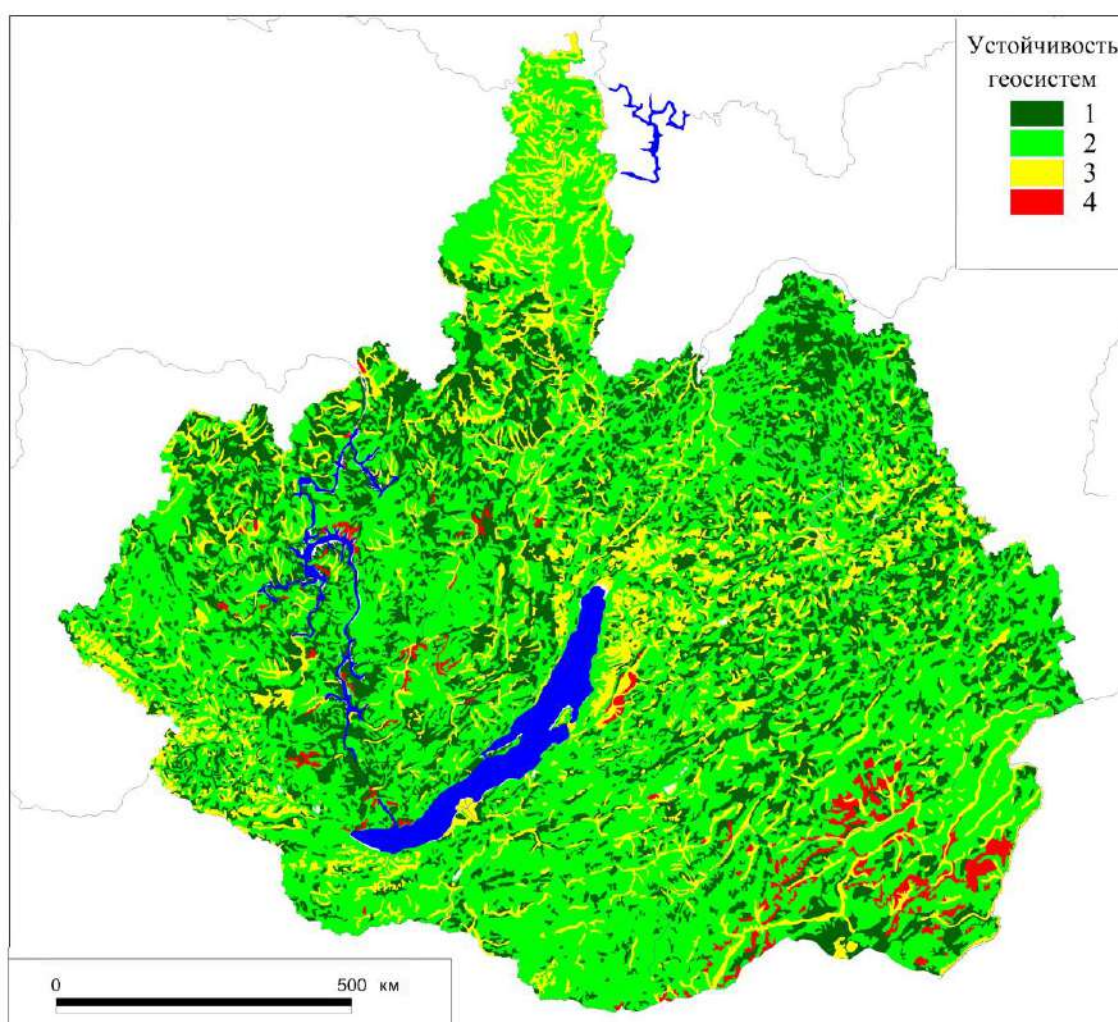


Рисунок 3.21. Устойчивость геосистем Байкальской Сибири.

Устойчивость: 1 – высокая, 2 – средняя, 3 – низкая, 4 – очень низкая.

Как было уже рассмотрено, устойчивость геосистем определяется

широтой диапазона между максимальным и минимальным значением факторов, в пределах которого геосистема способна сохранять характерные для нее структурные и функциональные особенности.

Таким образом, устойчивость геосистем - способность геосистем при внешнем воздействии сохранять свое состояние неизменным в течение определенного интервала времени, восстанавливать свое исходное состояние после возмущения и способность переходить из одного состояния в другое, сохраняя за счет этого инвариантные черты структуры, что является фактором и условием формирования экологического потенциала геосистем как совокупности природных ресурсов и условий, а также ассимиляционных возможностей геосистемы, обеспечивающих потребности населения во всех необходимых первичных средствах существования, при сохранении структурно-функциональных параметров геосистемы.

#### **3.4. Социально-хозяйственная значимость объективных функций геосистем в природопользовании**

Элементарным носителем ресурсных функций географической оболочки является геосистема - это «целое, состоящее из взаимосвязанных компонентов природы, подчиняющихся закономерностям, действующим в географической оболочке или ландшафтной сфере» [Сочава, 1974, с.4]. Все природные ресурсы связаны с определенными вещественными и энергетическими компонентами геосистем [Исаченко, 1992].

Исходя из определений природных ресурсов, принятых в экономико-географических и экономических исследованиях [Минц, 1973; Комар, 1975; Гофман, 1977; Реймерс, 1990], и сопоставляя их с представлениями физической географии, природные ресурсы можно определить, как вещественные и энергетические компоненты геосистем, которые на данном этапе развития производительных сил используются в производстве материальных и нематериальных благ [Васенькина, 2007].

При экономической оценке природных ресурсов комплексное понятие «геосистема» позволяет учитывать природно-обусловленную ограниченность ресурсов, когда все компоненты объединены потоком вещества и энергии, а изъятие одного компонента может приводить к деградации другого.

Ресурсные функции компонентов геосистемы связаны, в первую очередь, с хозяйственной деятельностью (добывающая промышленность, энергетика, сельское, лесное хозяйство, водоснабжение и др.). Геосистема, как ресурсная система, способна содержать и воспроизводить ресурсы, геосистема, как ресурсосодержащая система, содержит и невозобновляемые ресурсы (полезные ископаемые) и возобновляемые (водные, лесные и т.п.).

Под ресурсовоспроизводящими свойствами геосистемы понимается ее способность воспроизводить некоторые возобновляемые ресурсы, такие как, биологические, и частично возобновляемые – водные.

Определение геосистемы как ресурсной системы обуславливает и отношение к ее охране, в первую очередь в процессе использования. При этом охрана геосистем должна характеризоваться, в первую очередь, стратегией ресурсосбережения, современными технологиями, учитывающими важность сохранения ее ресурсовоспроизводящих свойств. В связи с этим возникает необходимость постоянного мониторинга за динамикой геосистем, выполнении мероприятий по поддержке их оптимальных воспроизводящих свойств с использованием методов управления и регулирования, требуется охранять геосистемы от всего, что может внести изменения в механизм воспроизводства ресурсов.

Используя геосистему как ресурсовоспроизводящую систему, человек в той или иной мере изменяет ее - заменяет естественную растительность культурной - формирует на месте лесов или степей пашни, на месте лесов – луга и т.д. Необходимо отметить, что изменения одного или нескольких компонентов геосистемы отражаются не только на ней самой, но и ведут к последствиям в других соседних геосистемах. Например, внесение увеличенного объема минеральных удобрений в сельском хозяйстве

оказывает влияние на повышение урожая полей, но в тоже время влияет и на эвтрофикацию озер и водохранилищ, куда одновременно со стекающими со склонов водами поступают и вещества, стимулируя рост биологической продуктивности.

Функции геосистемы как ресурсной системы должны рассматриваться совместно с функцией пространственного базиса (территории размещения и развития производительных сил, расселения людей). Также в функции входят и ландшафтные условия освоения ресурсов, являющиеся одним из главных элементов экономической оценки природных ресурсов (условия в которых происходит деятельность человека - климатические, гидрологические и пр., влияющие на строительство, эксплуатацию технических сооружений, сельскохозяйственное производство и т.д).

Устойчивое развитие территории, высокое качество жизни населения, экологическая безопасность могут быть обеспечены только при условии сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды. Необходимым условием устойчивого развития является рациональное использование природных ресурсов и оптимизация природной среды. Оптимизация (от лат. *optimus* - наилучший) - сложное многоаспектное понятие, в наиболее общем случае: выбор наилучшего (оптимального) варианта из множества возможных [Борисов, 2003].

«Научная теория оптимизации природной среды должна исходить, прежде всего, из представления о самой среде не как случайном наборе разнообразных предметом и явлений, а как организованном целом, то есть эта теория неизбежно должна быть географической» [Исаченко, 1980, с. 123].

При оптимизации природной среды необходимо понимать и учитывать всю сложность ситуации: во-первых, необходимо сохранение природы для дальнейшего развития человечества, а во-вторых - прогресс общества невозможен без использования природной среды. Действия при оптимизации природной среды должны быть скоординированы в трех основных направлениях:

- 1) научно-обоснованное рациональное природопользование;
- 2) охрана природных компонентов, минимизация негативного воздействия;
- 3) активное регулирование природных процессов на научной основе [Идрисова, 2008].

Одним из важнейших условий рационального природопользования является оценка экологического потенциала геосистем, что позволяет обеспечить учет баланса экологических и экономических интересов общества, создать научные предпосылки для разработки правовых природоохранных норм, научного и информационно-аналитического обеспечения охраны окружающей среды и экологической безопасности. Под экологическим потенциалом геосистем понимаются естественные свойства природных систем, особенности их структурно-функциональных внутренних и внешних связей, сформировавшиеся в ходе эволюционного развития, а также ассимиляционные возможности геосистемы, обеспечивающие жизненные потребности человека, при сохранении максимально возможных структурно-функциональных параметров геосистемы. Каждая геосистема способна выполнять и определенные экологические функции.

Разнообразие экологических функций геосистем можно свести к двум главным категориям: собственно, экологические функции, и социально-экономические функции. Экологические функции – свойства геосистем сохранять (до определенных пределов) и воспроизводить специфические параметры природной среды, внутренне присущие геосистемам и определенные особенностями их эволюционным развития, факторами соседства и другими обстоятельствами (например, особенности функционирования, динамики, продуктивности и др.) [Кулешова, Мазуров, 1994]. Вторая категория - социально-экономические (ресурсные или производственные) функции геосистем, и связаны они с понятием природных ресурсов – «природные объекты и явления, используемые в настоящем, прошлом и будущем для прямого и непрямого потребления,

способствующие созданию материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов, поддержанию условий существования человечества и повышающие качество жизни (ресурсы удобств, эстетические ресурсы, в том числе феномены природы)» [Реймерс, 1980, с. 456], таким образом, каждая геосистема обладает конкретным ресурсным потенциалом, имеющим прямую зависимость от ее генетического типа.

Понятие экологических функций (геосистем, ландшафтов, территории) разработано достаточно давно. С 70-х годов XX века в научных трудах московских и прибалтийских географов и экологов при анализе природных особенностей регионов начинают выделяться «каркасные» функции, но, по большей части, без детальной их расшифровки [Стоящева, 2007]. Похожий функциональный подход выполнен почвоведом - под экологической функцией почв понимается роль и значение почв и почвенных процессов в жизни, сохранении и эволюции экосистем в целом [Добровольский, Никитин, 1990]. По определению данных авторов экологические функции почв, как компонента геосистем, включают: сохранение жизненного пространства, поставку элементов питания, сорбцию веществ, поступающих из соседних сред, а также санитарную функцию в роли буферного и защитного биогеоценоотического экрана.

Под экологическими функциями литосферы в экологической геологии понимается «всё многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая подземные воды, нефть, газы, геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы, в жизнеобеспечении биоты и, главным образом, человеческого сообщества» [Трофимов, Зилинг, 2002, с. 15-16]. Все экологические функции литосферы сводятся к четырем основным: ресурсная, геодинамическая, геофизическая и геохимическая. Ресурсная экологическая функция литосферы определяет значение минеральных, органических и органоминеральных ресурсов литосферы для жизнедеятельности биоты и человеческого общества. Влияние динамики литосферы на условия существования геосистем определяет

геодинамическую экологическую функцию. Свойство геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биотического компонента геосистем, включая человека, отражается геохимической экологической функцией литосферы. Свойства геофизических полей литосферы влиять на состояние биоты отражает геофизическая экологическая функция литосферы. Геохимическая и геофизическая экологические функции литосферы определяют медико-биологические условия существования биотического компонента геосистем [Трофимов, Зилинг, 2002].

Понятие об экологических функциях геосистем считается ключевым при создании схем функционального и экологического зонирования территории, что является одной из важнейших операций при территориальном планировании, которое в наибольшей степени обеспечивает охрану природы и рациональное природопользование.

Для Байкальской Сибири составлена карта экологических функций геосистем (рисунок 3.22). На карте представлены геосистемы, объединенные по сходству выполняемых ими экологических функций. В легенде карты они подразделяются на группы: средоформирующие геосферного и регионального значения, средорегулирующие регионального значения, средостабилизирующие регионального значения, средозащитные регионального и локального значения.



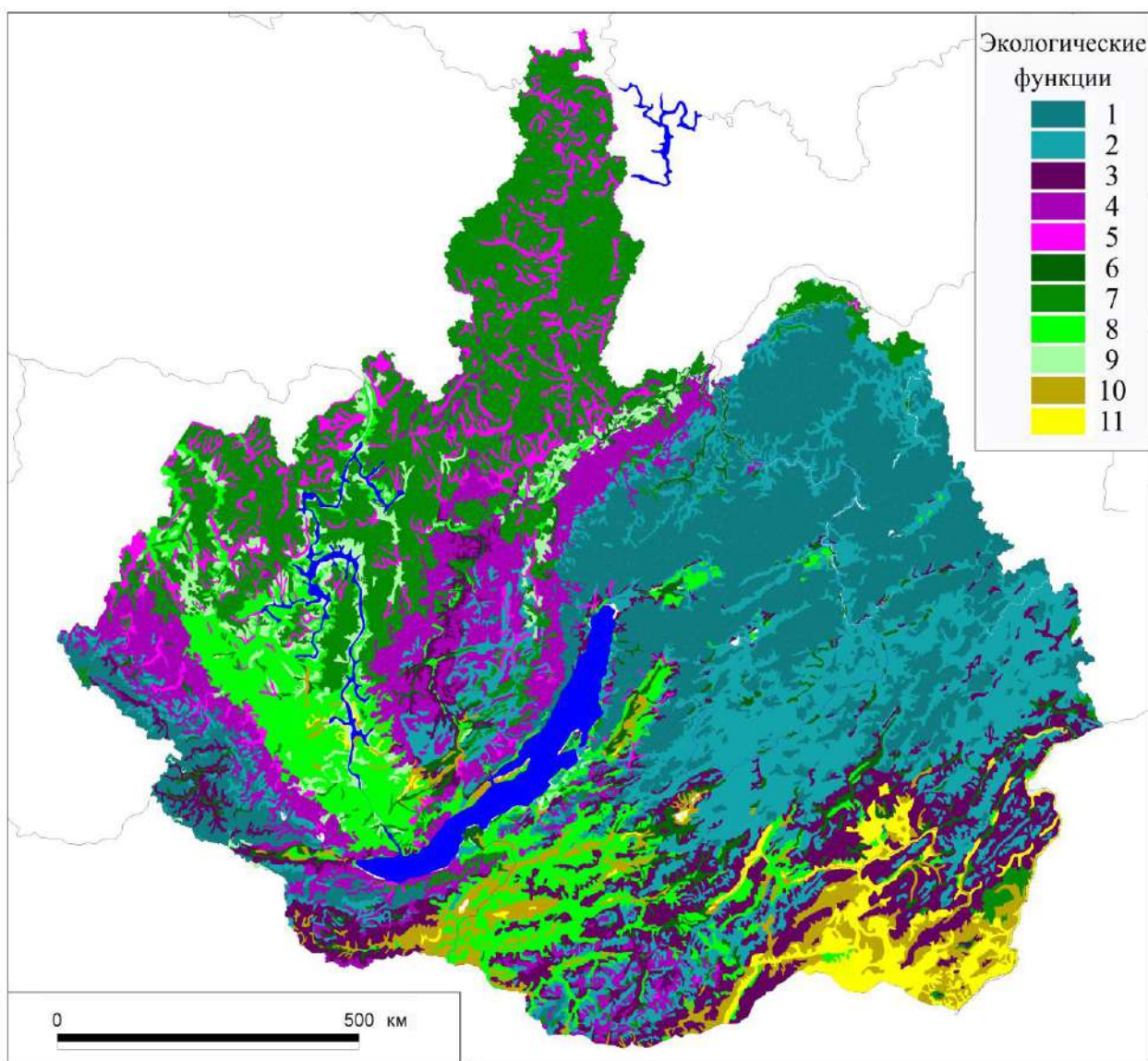


Рисунок 3.22. Экологические функции геосистем Байкальской Сибири.

*Средоформирующие:* 1. Геосферного значения, при воздействии изменения проявляются, в том числе и в смежных структурах; 2. Регионального значения, горно-мерзлотная; *Средостабилизирующие:* 3. Регионального значения, при воздействии возможно усиление гидроморфности в результате протаивания мерзлоты; 4. Регионального значения, при воздействии возможно усиление гидроморфности плоских поверхностей и аридности склонов; 5. Регионального значения, при воздействии возможно усиление аридности; *Средозащитные:* 6. Регионального значения, при воздействии возможно значительное усиление гидроморфности в результате значительного протаивания мерзлоты; 7. Регионального значения, при воздействии характеризуются очень длительным периодом восстановления; 8. Регионального значения, техногеннобарьерная, при воздействии возможно усиление аридности для южносибирских и усиление гидроморфности для байкало-джугджурских геосистем; 9. Локального значения, техногеннобарьерная, при воздействии возможно усиление аридности или заболачивание в результате протаивания мерзлоты; *Средорегулирующие:* 10. Регионального значения, техногеннобарьерная, при воздействии возможно усиление аридности; 11. Регионального значения, техногеннобарьерная, при воздействии возможно усиление аридности.

Основную средоформирующую функцию выполняют южносибирские горнотундровые, южносибирские альпинотипные, южносибирские подгольцово-редколесные, байкало-джугджурские горнотундровые, байкало-джугджурские подгольцово-редколесные геосистемы. Функции проявляются в определяющем воздействии на местный климат, величину и распределение стока, распределение и интенсивность некоторых геодинамических процессов. В процессе трансформации осадков реализуются две основные гидрологические функции ландшафтов - стокоформирующая и стокорегулирующая, определяющие величину и характер водоотдачи. Стокорегулирующие функции геосистем определяют перераспределение склонового стока, уменьшение пиков половодий и паводков, увеличение питания водоемов в меженные периоды и улучшение качества воды. Стокорегулирование в геосистеме обусловлено временем нахождения воды в местоположениях с различной почвенно-растительной структурой и крутизной склонов.

Средостабилизирующая функция характерна горнотаежным геосистемам редуцированного и ограниченного развития, в основном относящихся к южносибирским высокогорным (редуцированного развития), южносибирским среднегорным (ограниченного развития), байкало-джугджурским высокогорным (редуцированного развития), байкало-джугджурским среднегорным (ограниченного развития), среднесибирским среднетаежным (ограниченного развития), среднесибирским северотаежным (редуцированного развития), амуро-сахалинским среднетаежным (ограниченного развития). В условиях континентального климата данные геосистемы обеспечивают существование определенного типа экологических условий. Такие геосистемы наиболее устойчивы и, в большинстве случаев, могут относительно быстро восстанавливаться после внешнего воздействия. В сочетании с гольцово-верхнетаежной сферой они определяют основное множество механизмов внутри- и внешнеструктурных ландшафтных взаимодействий [Кузнецова, Батуев, 2011].

К геосистемам со средорегулирующими функциями относятся южносибирские степные, западнобайкальские степные, северомонгольские степные геосистемы. В общем, эти геосистемы характеризуются недостаточным увлажнением. В регулировании стока их роль относительно невелика, достаточно важное регулирующее значение они приобретают в условиях большого испарения влаги. Огромное средорегулирующее значение травяной растительности приобретает в безлесной степной зоне (для защиты почв от ветровой и водной эрозии). Например, легко подвергающиеся выдуванию пески, покрытые травяным покровом, не страдают от дефляции. Травяная растительность снижает скорость ветра у поверхности земли, задерживает почвенные частицы, переносимые ветром. Таким образом, сохранение существующего природного равновесия обеспечивает растительный компонент этих геосистем, нарушение равновесия может привести к изменению существующего режима увлажнения и, следовательно, самой структуры геосистем. Особенно, такая функция возрастает в условиях антропогенных нагрузок. В связи, с чем все степные ландшафты Байкальской Сибири, выполняя техногенно-барьерную функцию, имеют важное почвозащитное значение.

Средозащитную функцию осуществляют «лесные травяные» геосистемы горнотаежные лиственничные, горнотаежные сосновые, подгорные подтаежные лиственничные, подгорные подтаежные сосновые, подгорные и межгорных понижений лиственничные, к которым относятся: байкало-джугджурские низкогорные (оптимального развития) долинные, байкало-джугджурские подгорные (оптимального развития), среднесибирские северотаежные (редуцированного развития), среднесибирские среднетаежные (ограниченного развития), среднесибирские южнотаежные (оптимального развития), среднесибирские подтаежные (оптимального развития), амуро-сахалинские подтаежные (оптимального развития), амуро-сахалинские южнотаежные (оптимального развития), южносибирские склоновые и террасные освещенные. Средозащитная

функция геосистем в первую очередь связана с растительностью - живым веществом, обладающим свойствами восстановления и стабилизации. Растительность - постоянно действующий стабилизирующий фактор, который препятствует техногенному и естественному выносу химических элементов и способствует усилению внутригеосистемного круговорота [Исаченко, 1991]. Также необходимо отметить, растительность, поглощая атмосферные осадки, уменьшает поверхностный сток, проявляя тем самым противозерозионное воздействие. Как известно, леса отличаются значительными буферными свойствами, что позволяет им противостоять разрушительному воздействию внешних факторов и обеспечивать поддержание стабильной природной обстановки не только на занимаемых ими территориях, но и на обширных прилегающих пространствах [Уткин, 1975; Стоящева, 2007; Burianek et al., 2013]. Средозащитная функция растительного покрова ярко проявляется в зонах неустойчивого увлажнения, в зонах геодинамической, или антропогенной активности, где даже небольшие нарушения почвы или растительности могут вызвать интенсивные негативные экологические процессы. К таким зонам, в первую очередь, относятся:

- крутые склоны,
- поверхности, сложенные породами легкого механического состава,
- участки, подверженные оползневым, селевым, лавинным, карстовым, сейсмическим и др. явлениям,
- территории, занимающие буферное положение относительно техногенных объектов, интенсивно загрязняющих окружающую среду.

Необходимо отметить важнейшую средозащитную функцию геосистем, с отсутствующим и затрудненным поверхностным стоком, аккумулирующих воду - верховые и переходные болота, заболоченные леса, и в некоторой степени поймы рек, они удерживают в себе влагу и загрязнение, тем самым выполняя водозапасающую и водоохранную функции.

Природный или базовый экологический потенциал - совокупность вещественно-энергетических ресурсов и свойств коренной геосистемы, обеспечивающих ее максимально возможные структурно-функциональные параметры (энергетические, организационные, водорегулирующие и т.д.) и полезные функции (ресурсные, производственные, средозащитные, рекреационные и т.д.), которые могут быть использованы человеком. Так как основной акцент к пониманию экологического потенциала делается на природоцентрическом подходе, то в определении указаны именно максимально возможные структурно-функциональные параметры и полезные функции, а не оптимальные. Оптимальность всегда связана с особенностью антропоцентричности, поскольку она определяется с позиции пользы для человека или удовлетворение его потребностей. В разных экономических условиях и при разной степени развития общества этот показатель всегда будет различным, кроме того, его будут определять, исходя из потребительских потребностей, а не с «пользы» для самой геосистемы. Признак «максимально возможных параметров и функций» является спонтанным, естественным, независимым от стремлений или потребностей человека. Например, именно максимальное значение коэффициента моментного роста популяции Ю. Одумом [1986] было использовано для определения биотического или репродуктивного потенциала.

Термин «природный (или базовый) экологический потенциал» используется исключительно для характеристики коренных или условно коренных геосистем. Но для хозяйственного использования необходимо оценивать также потенциальные возможности производных и антропогенно-измененных геосистем. Понятно, что в основе этих возможностей лежит величина экологического потенциала коренной геосистемы, на месте которой (например, в результате пожара или рубок главного пользования) возникла производная геосистема - другой структуры и с другими вещественно-энергетическими свойствами. Для определения этих потенциальных

возможностей предлагается использовать понятие «остаточный экологический потенциал».

Под остаточным экологическим потенциалом геосистемы понимается совокупность ее вещественно-энергетических ресурсов и свойств, сложившихся под влиянием хозяйственной деятельности, что и определяет ее существующие структурно-функциональные параметры и полезные функции. Вещественно- энергетической базой остаточного экологического потенциала геосистемы является природный экологический потенциал. В зависимости от степени антропогенной нарушенности геосистем можно выделить разные уровни остаточного потенциала – высокий, средний и низкий. Но полное (стоцентное) использование экологического потенциала геосистемы представляется практически невозможным вследствие того, что значительные энергетические ресурсы тратятся не на поддержание работы производной геосистемы, а на поддержание естественного динамического процесса - воспроизведение структуры и функций коренной геосистемы. Эти параметры запрограммированы в инварианте геосистемы, что можно назвать «генетической памятью». Ю.Г. Пузаченко считает, что «в основе инвариантности лежат два принципа; многосвязность и многоканальная компенсация внешних возмущений» [1983, с. 41]. По мнению А.А. Тишкова [1992], инвариантность (стабильность) как свойство системы обеспечивается совокупностью следующих трех видов ее «памяти»:

- 1) Суммой генотипов компонентов биоты («памятью биоты», генофондом). Именно посредством своей генетической "памяти", многообразных генетических программ биота определяет или существенно корректирует развитие других компонентов геосистем на разных уровнях их пространственной дифференциации, а сама реализует собственные механизмы устойчивости, такие, как физиологическая способность к адаптации, популяционные механизмы регуляции и др.

2. Консервативными элементами преобразованной биотой среды - почвой, фитоклиматом, биогенным рельефом, запасами органического вещества и пр. («память трансформированного биотой экотопа»).

3. «Памятью исходного экотопа» или «потенциалом инвариантности» (по В. Б. Сочаве), которая является своего рода фоном для развития биоты [Тишков, 1992, с. 111].

В связи с этим, для поддержания работы производных, антропогенно-измененных и антропогенно-нарушенных геосистем человек вынужден искусственно создавать для них благоприятные условия среды путем значительных затрат антропогенной энергии (обработка почвы, внесение удобрений, борьба с сорняками, вредителями, и т.п.), то есть искусственно формировать их остаточный потенциал.

Для восстановления, сохранения или повышения экологического потенциала геосистем необходим целый ряд мероприятий, таких как: ограничение хозяйственного использования территорий вплоть до его полного запрета, изменение хозяйственного профиля, рекультивация нарушенных земель, восстановление лесов, мелиорация разных типов и т. д.

Разница между природным и остаточным экологическими потенциалами геосистем свидетельствует, с одной стороны, об уровне использования природного экологического потенциала производной геосистемой, с другой - о потере или приумножение этого потенциала под влиянием антропогенного возмущения (например, эрозия почвы, внесение удобрений и т.д.) [Tang et al., 2015].

Для оценки природного экологического потенциала геосистем необходимо учитывать устойчивые (инвариантные) природные свойства, не зависящие от человека, действующие повсеместно и имеющие универсальное значение для его жизни [Исаченко, 2003]. Такие свойства можно объединить в следующие группы: 1) климатические, 2) орографические, 3) биотические.

Экологические факторы антропогенного происхождения обладают в некоторой степени вторичным характером, они покрывают непрерывный

природный фон, создавая на определенных территориях антропогенные экологические изменения с разной степенью проявления интенсивности. Набор параметров для оценки таких факторов огромен и разнообразен. С некоторой условностью их можно разделить на фоновые, или площадные, обусловленные в основном характером использования земель (пожары и вырубки леса, сельскохозяйственная обработка земель и др.), и очаговые (точечные, линейные), определенные локальными источниками антропогенного воздействия (такие, как урбанизация, транспортная инфраструктура, промышленное производство и т.д.) [Исаченко, 2003].

В сущности, разнообразные природные и антропогенные экологические факторы создают большое количество различных сочетаний. Экологический эффект отдельных факторов еще можно оценить и выразить в количественных показателях, а вот определение интегральной меры совместного экологического эффекта всех факторов, представляется затруднительным.

Как известно, антропогенные преобразования ведут к трансформации геосистем и снижению экологического потенциала, например, уничтожение естественной растительности, замена ее на производные сообщества является одним из главных показателей экологической дестабилизации. Однако, если антропогенное воздействие на геосистемы прекращается, то вступают в действие механизмы естественного восстановления экологического потенциала. Начинаются восстановительные сукцессии (демутация) растительного покрова, в зависимости от степени преобразования геосистемы и зонально-климатических условий скорость демутации различная. Необходимо отметить способность живого вещества оказывать мощное давление на окружающую среду [Вернадский, 1926], и без антропогенного вмешательства через определенное время сформируется растительный покров, который в полной мере будет выполнять средообразующие функции, обеспечивая устойчивость и должный уровень экологического потенциала геосистем.



Исследования процессов восстановления естественной растительности лучше всего рассмотреть на залежных землях. Данный вопрос имеет довольно длительную историю, первые описания залежной растительности появились в середине XIX века, когда большие площади перепаханых степей на юге Европейской России превратились в залежи [Лавренко, 1940; Костычев, 1951]. К данной проблеме в своей системе «залежно – парового» земледелия обращался В.В. Докучаев [1936]. Вопросами восстановления растительности на залежах занимались В.Р. Вильямс [1951] и П.А. Костычев [1951], они связывали динамику растительного покрова на заброшенных пашнях с процессами восстановления плодородия и структуры почвы.

Восстановление естественной растительности на залежных землях, или демутация, является сложным процессом восстановления не только естественной растительности, но и почвенного плодородия после определенного периода ее освоения под посеvy культурных растений. При этом многими исследователями подчеркивается, что наличие общих черт в динамике восстановления не исключает проявления ряда специфических черт региональных особенностей [Дубровский и др., 2012].

Выявление сукцессионных серий лесов является актуальной проблемой в сфере лесовосстановления, мониторинга динамических процессов в лесах и организации охраны их фиторазнообразия. В настоящее время особый научный интерес вызывают восстановительные сукцессии лесов на бывших сельскохозяйственных землях связи с их широким распространением в лесной и лесостепной зонах.

Ключевой участок исследования восстановительных сукцессий лесов на бывших пашнях находится на западном окончании Чикойской впадины, где основная река Чикой входит в сужение и устьевой части р. Мензы (рисунок 3.23). Для него характерно сложное геолого-геоморфологическое строение, связанное со стыковым положением между Западно-Забайкальской и Хэнтэй-Даурской геоморфологическими областями и сочетанием горно-котловинного рельефа.

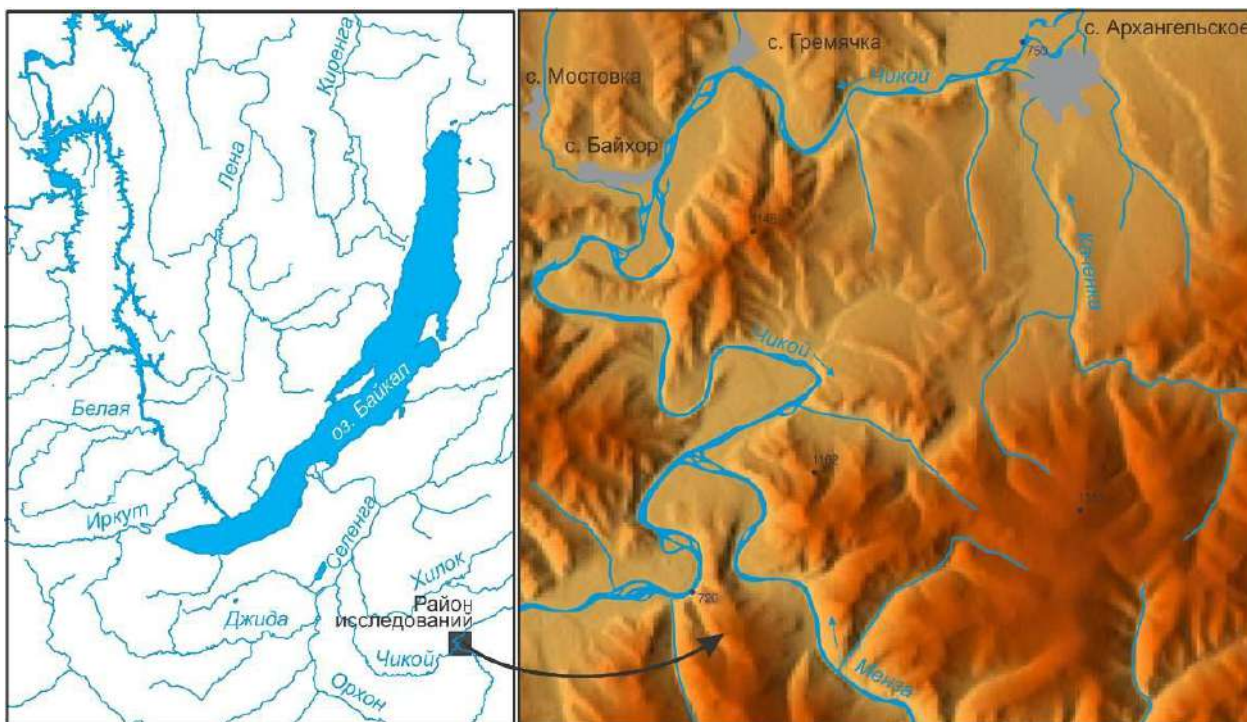


Рисунок 3.23. Географическое положение Усть-Мензенского ключевого участка исследования

Коренные породы, слагающие наиболее приподнятые части и склоны горных хребтов представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами, сланцами венда, гранитами, гранито-гнейсами, диоритами, гранодиаритами раннепалеозойского возраста, андезитами, базальтами, туфами перми. Чикойская впадина, заложенная в позднем мезозое, заполнена меловыми базальтами, туфами и четвертичными склоновыми, аллювиальными, озерными, озерно-аллювиальными отложениями.

Рельеф представлен структурно-денудационным, денудационным и аккумулятивным типами рельефа, раскиданным по разным гипсометрическим уровням в пределах 400-500 м. К первому типу относятся склоны южной экспозиции на юго-востоке исследуемого района. Он занимает небольшую площадь в приводораздельном пространстве.

Второй тип представляют склоны возвышенностей средней крутизны отпрепарированные комплексом экзогенных процессов и денудационно-эрозионные склоны речных долин. В наиболее возвышенных водораздельных

пространства сохранилась древняя поверхность выравнивания неогенового возраста.

Аккумулятивный рельеф, где наиболее интенсивна хозяйственная деятельность, занимает самую большую площадь в исследуемом районе. Горно-котловинный характер поверхности создает сложное сочетание разновременных аллювиальных, озерных, озерно-аллювиальных террас, переходящих к бортам впадин и широких участков речных долин в делювиально-проллювиальные равнины.

Согласно лесорастительному районированию территория исследования относится к Чикойско-Ингодинской лесорастительной провинции [Новосельцева, 1969]. Провинция располагается в юго-западной части Забайкальского края, включая в себя Малханский и Яблоновый (юго-западная часть) хребты, а также систему хребтов в верховьях рек Ингоды и Чикоя, именуемую Хэнтэй-Чикойским нагорьем.

Лесная растительность представлена в районе кедровниками, лиственничниками и сосняками. Лесной покров прерывается безлесными участками, занятыми степной растительностью, только на выпуклых участках склонов, по большей части, южной экспозиции, примыкающих непосредственно к долинам крупных рек.

Леса отчетливо разделяются на два высотных пояса: нижний – светлохвойных лесов и верхний – темнохвойных. Пояс светлохвойных лесов, обычно, начинается от подошвы склонов или от аккумулятивных террас речных долин и покрывает нижнюю и среднюю части склонов. В составе его насаждений – сосна (*Pinus sylvestris*), лиственницы сибирская (*Larix sibirica*) и даурская (*Larix dahurica*). Оба вида лиственницы связаны рядом промежуточных гибридных форм, объединяемых иногда под общим названием лиственницы Чекановского (*Larix czekanowskii*) [Новосельцева, 1969].

Сосна, как наиболее теплолюбивая в местных условиях порода, произрастает на теплых и сухих местоположениях. На менее теплых, более

влажных и более богатых почвах располагаются лиственничные леса.

Березняки в поясе светлохвойных лесов встречаются редко, и являются преимущественно вторичными. На месте вырубленных лиственничных лесов развиваются березняки бореального облика с примесью лиственницы, и частично сосны, и наличием в растительном покрове видов, характерных местным светлохвойным лесам. Вторичные осиновые леса встречаются гораздо реже березняков.

С абсолютной высоты 1200 - 1300 м над ур. м. пояс светлохвойных лесов сменяется поясом темнохвойных. В зоне контакта поясов наблюдается переходная полоса смешанных кедрово-лиственничных, лиственнично-кедровых лесов, где значительное развитие получают производные березняки. Граница пояса темнохвойных лесов в недалеком прошлом располагалась ниже, чем в настоящее время [Новосельцева, 1969].

Степная растительность доминирует в широких долинах рек Хилок, Чикой, Менза и др. На высоких аккумулятивных террасах этих рек преимущественно располагаются высокопроизводительные рододендроновые сосняки. По мере движения на юго-восток постепенно увеличиваются площади, занятые степями.

На Яблоновом и Малханском хребтах степь отмечается исключительно в нижней части южных склонов и по широким долинам, а на крайнем юге (по притокам р. Менза) занимает все склоны южной экспозиций от подошвы до вершин (1100-1300 м над ур. м.). В верхней части склонов степь в отдельных случаях сменяется разреженными остепненными сосняками. Таким образом, для юга территории характерна горная лесостепь, где степная и лесная растительность разграничивается экспозицией склонов; на южных склонах распространены разнотравно-злаковые петрофитные степи, северные склоны заняты лиственничными зеленомошными или рододендроновыми лесами. В долинах крупных рек среди степных ландшафтов на черноземовидных почвах отмечаются березовые колки.

Острова и береговая пойма заняты, как правило, тополем душистым

(*Populus suaveolens*). На песчано-галечниковом аллювии редко встречаются лиственницы сибирская и даурская (*Larix sibirica, dahurica*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), кедр сибирский (*Pinus sibirica*), ель сибирская (*Picea obovata*). Хорошо разрастаются здесь кустарники: черемуха (*Padus avium*), ольховник кустарниковый (*Duschekia fruticosa*), свидя белая (*Svida alba*), красная смородина (*Ribes rubrum*).

Хэнтэй-Чикойское нагорье является крайним юго-восточным выступом ареала распространения пихты и кедра, который с трех сторон окружен аридными областями даурских и монгольских степей. Тем не менее, физико-географические условия района для кедра более благоприятны, чем для пихты, в результате она не играет существенной роли в сложении темнохвойных лесов в пределах Хэнтэй-Чикойского нагорья. В Забайкалье, чаще всего, пихта в небольшом количестве примешивается к кедру, и редко слагает второй ярус в кедровых насаждениях. Исключительно редко по днищам падей формируются небольшие площади практически чистых пихтовых древостоев. В большинстве кедровых массивах района пихта отсутствует вообще.

По защищенным долинам горных речек и ручьев небольшие по площади участки насаждений образует Ель сибирская.

Следует отметить, что растительный покров на исследуемом ключевом участке претерпел существенное воздействие антропогенных факторов, прежде всего, связанных с распашкой территории и развитием в XIX-XX вв. золотодобычи дражным способом. На рисунке 3.24 показана динамика категорий земель за последние 100 лет, информация получена на основе анализа карт, составленных Корпусом военных топографов, и данных дистанционного зондирования (Landsat MSS, Landsat 5 TM).

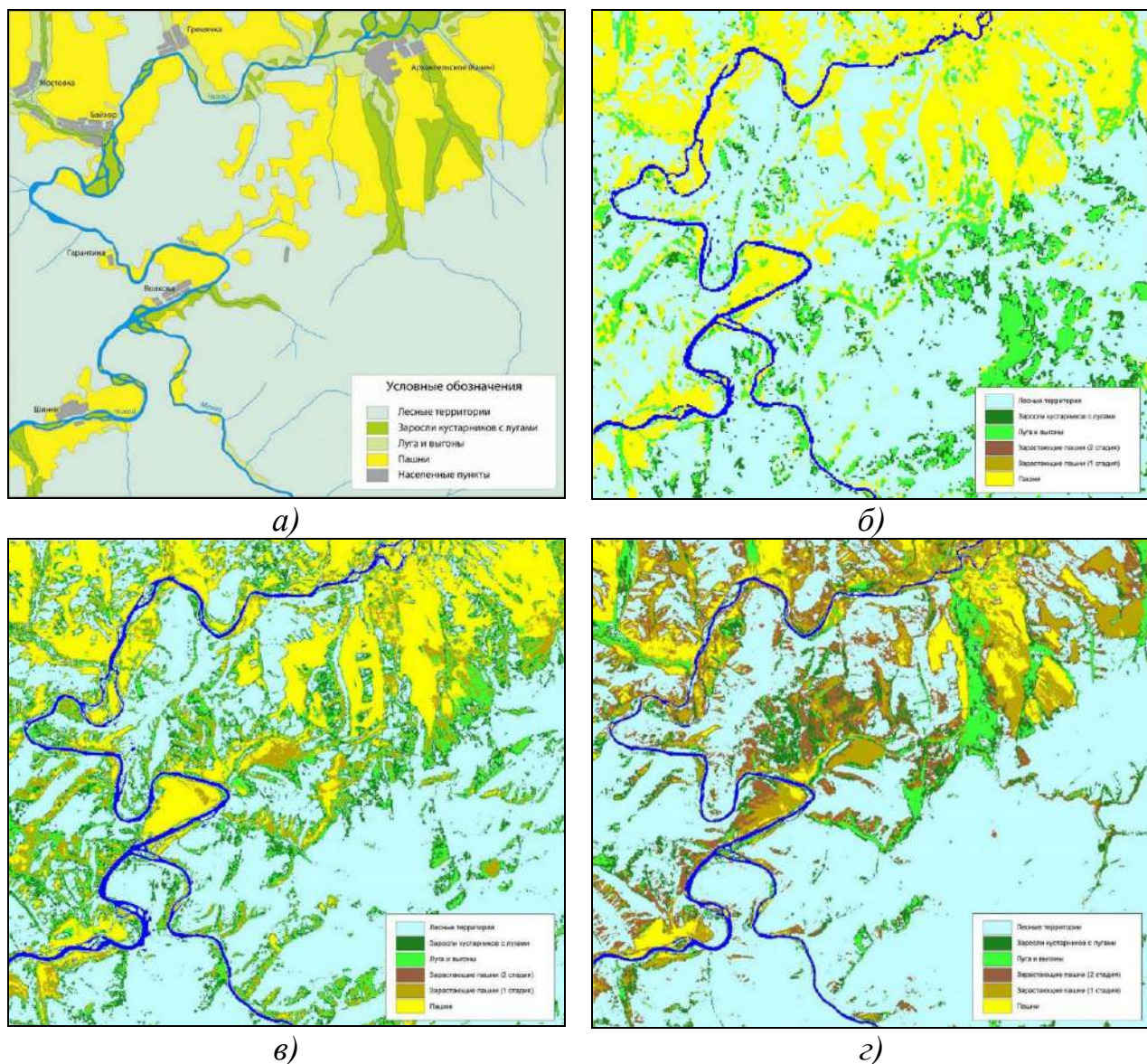


Рисунок 3.24. Категории земель на Усть-Мензенском ключевом участке. а) – 1906 г., б) – 1976 г., в) – 1993 г., з) – 2011 г.

Для исследования и оценки параметров растительного покрова использовалась разнокачественная информация: космическая, картографическая, наземных исследований, фондовые материалы, базы данных ГИС: 1) космические снимки высокого пространственного разрешения Landsat-MSS (дата съемки 01.07.1976) и Landsat-5 TM (13.05.1993, 26.07.2003, 02.07.2011); 2) топографические карты масштаба 1: 84 000 (в 1 дюйме 2 версты, издания 1896–1914 гг.); 3) материалы экспедиционных исследований, собранные в 2012–2013 гг.

На основе NDVI, рассчитанного по разновременным космическим

снимкам Landsat 5 TM, и материалов экспедиционных исследований получена информация, отражающая современное состояние и восстановительную динамику растительного покрова после прекращения антропогенного воздействия (рисунок 3.25).

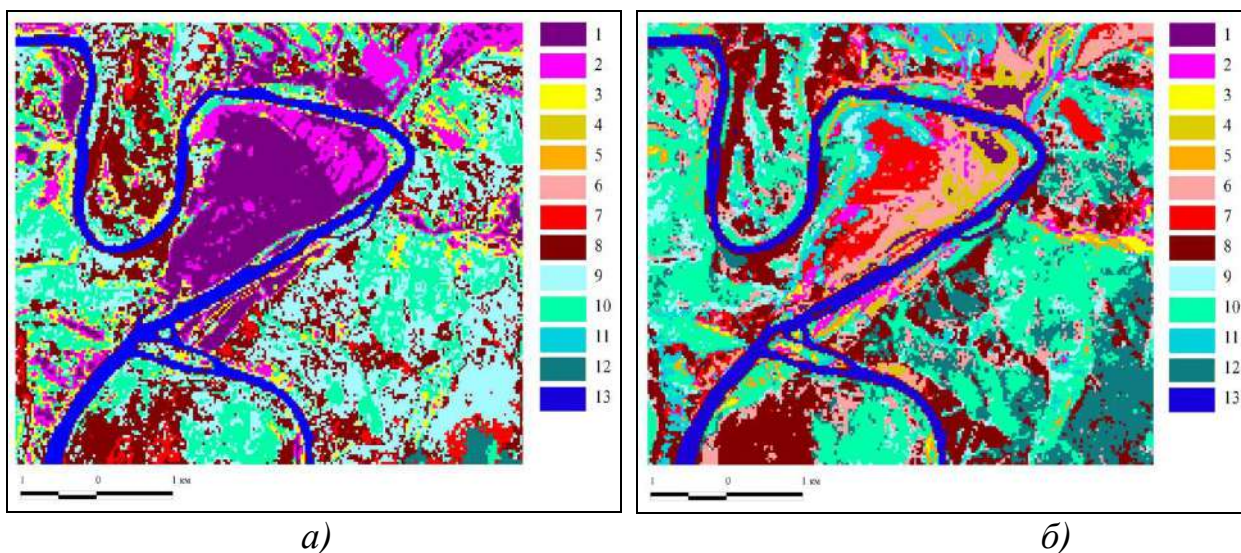


Рисунок 3.25. Растительный покров на Усть-Мензенском ключевом участке: *а)* – 1993 г., *б)* – 2011 г.: 1 - пашни, 2 - залежи 1-3 года, 3 - злаково-разнотравные луга, 4 - остепненные луга, 5 - закустаренные луга, 6 - сосняки молодые (жердняк) 1 класса возраста, 7 - сосняки 2 класса возраста, 8 - сосновый лес средневозрастный и спелый (коренные), 9 - осиново-березовый лес, 10 - березовый лес, 11 - березово-сосновый, 12 - сосново-березовый лес, 13 – вода.

За 18 летний период наблюдается практически полное прекращение распашки земель. На месте пашен на легких почвах и на освещенных склонах при отсутствии выпаса восстанавливаются сосновые леса. На залежах теневых склонов, а также на вырубках и гарях формируются сосново-березовые и березово-осиновые леса с сосной [Владимиров, Кобылкин, Холбоева, 2016].

В ходе полевых исследований были выявлены следующие стадии восстановительных сукцессий сосновых лесов на залежах модельного

участка.

Начало зарастания – 1-5 лет. Злаково-разнотравный луг (*Artemisia scoparia*, *Dontostemon integrifolia*, *Trifolium pratense*, *Elytrigia repens*) с проростками и подростом сосны высотой до 1 м.

Вторая стадия – 5-15 лет. Луговая степь (*Agrostis trinii*, *Poa pratensis*, *Vicia nervata*, *Achillea asiatica*) с подростом сосны высотой до 3 м.

Третья стадия - 15-30 лет. Сосняк спирейно-разнотравный (*Spiraea salicifolia*, *S. media*, *Fragaria orientalis*, *Agrostis trinii*). Высота деревьев – до 6-8 м.

Четвертая стадия - 30-50 лет. Сомкнутый молодой сосновый лес. Возраст примерно 30-50 лет.

Пятая стадия - 50-80 лет. Сосняк бедноразнотравный (*Agrostis trinii*, *Galium verum*) остепненный.

Таким образом, использование разновременных значений NDVI на основе снимков высокого разрешения позволило провести дистанционную оценку восстановительной динамики лесной растительности, что в сочетании с данными маршрутных наблюдений дает возможность картировать территории, не охваченные наземными исследованиями, путем интерполяции.

Полученная информация о составе и динамике современного растительного покрова, выраженная посредством картографического ГИС-моделирования представляет собой основу для системной оценки растительности и может использоваться в сфере лесовосстановления, мониторинга динамических процессов в лесах и организации охраны их фиторазнообразия [Владимиров, Кобылкин, Холбоева, 2016], выступать в качестве базиса для оценки природного и остаточного экологического потенциала территории (рисунок 3.26).



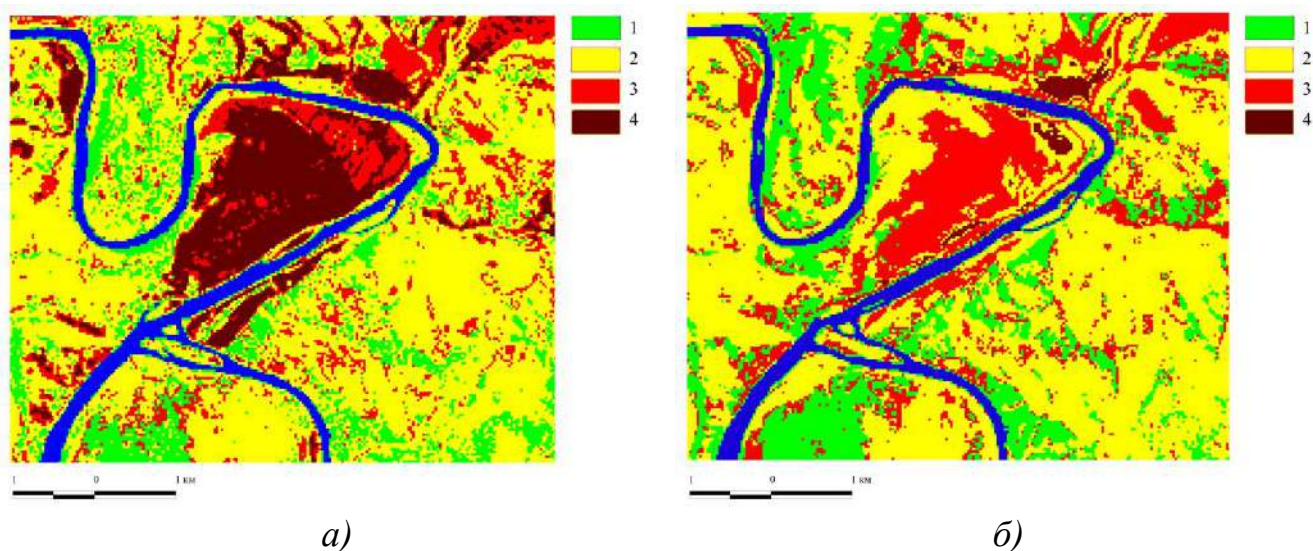


Рисунок 3.26. Остаточный экологический потенциал на территории Усть-Мензенского ключевого участка. *а)* – 1993 г., *б)* – 2011 г.: 1 - высокий, 2 - средний, 3 – низкий, 4 – минимальный.

При хозяйственном использовании и восстановлении необходимо оценивать потенциальные возможности производных и антропогенно-измененных геосистем. В основе таких возможностей лежит величина экологического потенциала коренной геосистемы, на месте которой возникла производная геосистема с другой структурой и с другими вещественно-энергетическими свойствами. Минимальным остаточным экологическим потенциалом, в данном случае, обладают пашни, восстанавливающиеся залежи; злаково-разнотравные луга, закустаренные луга и молодые сосняки - низкий потенциал, средневозрастные сосново-березовые, сосновые леса – среднее значение остаточного экологического потенциала, спелые сосняки - высокий остаточный экологический потенциал. Величина остаточного экологического потенциала свидетельствует, с одной стороны, об уровне использования природного экологического потенциала производной геосистемой, а с другой - о потере или приумножении этого потенциала под влиянием антропогенного возмущения.

### 3.5. GRID-моделирование экологического потенциала геосистем

Экологический потенциал геосистем трактуется как совокупность определенных характеристик, а также экологически значимых свойств, имеющих определенное значение для практики природопользования, учет которых необходим при любой хозяйственной деятельности человека. По существу, экологический потенциал геосистем определенной территории – это естественные свойства природных систем, особенности их структурно-функциональных внутренних и внешних связей, сформировавшиеся в ходе эволюционного развития природной среды.

Для организации исследований экологического потенциала, факторов и условий, оказывающих влияние на его формирование, использовались:

- ЦМР, созданная на основе данных радарной топографической съемки SRTM;

- набор глобальных климатических данных WorldClim (<http://www.worldclim.org>) с пространственным разрешением 30 угловых секунд, что примерно соответствует 1 км<sup>2</sup> [Hijmans et al., 2005];

- данные о чистой первичной биологической продукции (Net primary production - NPP) - результат обработки данных дистанционного зондирования спектрорадиометра MODIS спутниковой системы Terra/Aqua (MOD 17);

- нормализованный разностный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI);

- усовершенствованный вегетационный индекс (Enhanced vegetation index – EVI).

*Данные радарной топографической съемки SRTM.*

Исходные данные SRTM представляют собой матрицу высот с размером ячейки 3 угловые секунды (около 90 м). Следует заметить, что пространственное разрешение SRTM определенным образом накладывает отпечаток на последующие вычисления. Это в полной мере относится к уклону, экспозиции склонов и другим переменным, величины которых реагируют на заданные размеры ячейки модели, устанавливает пределы

детализации моделируемой поверхности [Luedeling, Buerkert, 2008].

*Набор глобальных климатических данных WorldClim.*

WorldClim – массив климатических данных, включающих минимальную, максимальную и среднюю температуру, осадки, высоту над уровнем моря, набор из 19 производных биоклиматических характеристик (BioClim), а также данные о климатах прошлого и будущего. Данные покрывают всю поверхность суши (за исключением Антарктиды) и доступны в разных форматах с различным пространственным разрешением вплоть до 30 arcsec, что примерно соответствует 1 км<sup>2</sup> [<http://www.worldclim.org>].

*Чистая первичная продуктивность*

Способность продуцировать биомассу является исключительно важным (качественно новым, производным) свойством геосистемы. Биологическая продуктивность - это накопление геосистемой органического вещества (биомассы) в процессе жизнедеятельности. Биологическая продуктивность является результатом деятельности особого природного механизма, в работе которого принимают участие солнечная энергия, минеральное вещество земной коры, атмосфера, гидросфера. Количество и качество биологической продукции различно для разных геосистем и строго соответствует ландшафтным условиям.

Чистая первичная продуктивность - запасаемое автотрофными организмами органическое вещество, которое идет на рост фитомассы. Выражается потоками органического вещества и его потенциальной химической энергии в единицах массы за единицу времени, отнесённой на единицу площади или на единицу объёма. Первичная биологическая продуктивность характеризует скорость образования (генерации) биомассы (первичной продукции) в процессе фотосинтеза зелёными растениями (автотрофами).

При исследованиях первичной биологической продуктивности наземных биогеоценозов определяется набор показателей, использующиеся затем как отдельные статьи баланса органического вещества на конкретных участках [Лесная энциклопедия..., 1985; Randerson et al., 2002] (рисунок

3.27). Первичная брутто-продукция, или валовая продукция (*GPP* - *gross primary production*) – биологическая продукция, определяемая с учётом затрат вещества и энергии на процессы метаболизма самих организмов-продуцентов. Первичной нетто-продукцией (*NPP* - *net primary production*) называется разность между первичной брутто-продукцией и затратами растений на дыхание ( $R_a$ ). *NPP* состоит не только из чистой биологической продукции прироста за учитываемый период (истинный прирост фитомассы - *NEP* - *net ecosystem production*), но и продукции, перешедшей в опад (упавшие на поверхность почвы части растений и др.) и отпад (сухостой, омертвевшие органы растений и др.), которые суммарно обозначаются  $L$ , а также частично продукцию живых растений, пошедшую на корм животных-фитофагов (консумпцию) -  $C_a$ . Сумма данных показателей называется гетеротрофным дыханием ( $R_h$ ), потому как энергия в обоих этих потоках ( $R_h=L+C_a$ ) освобождается в основном с участием гетеротрофных организмов.

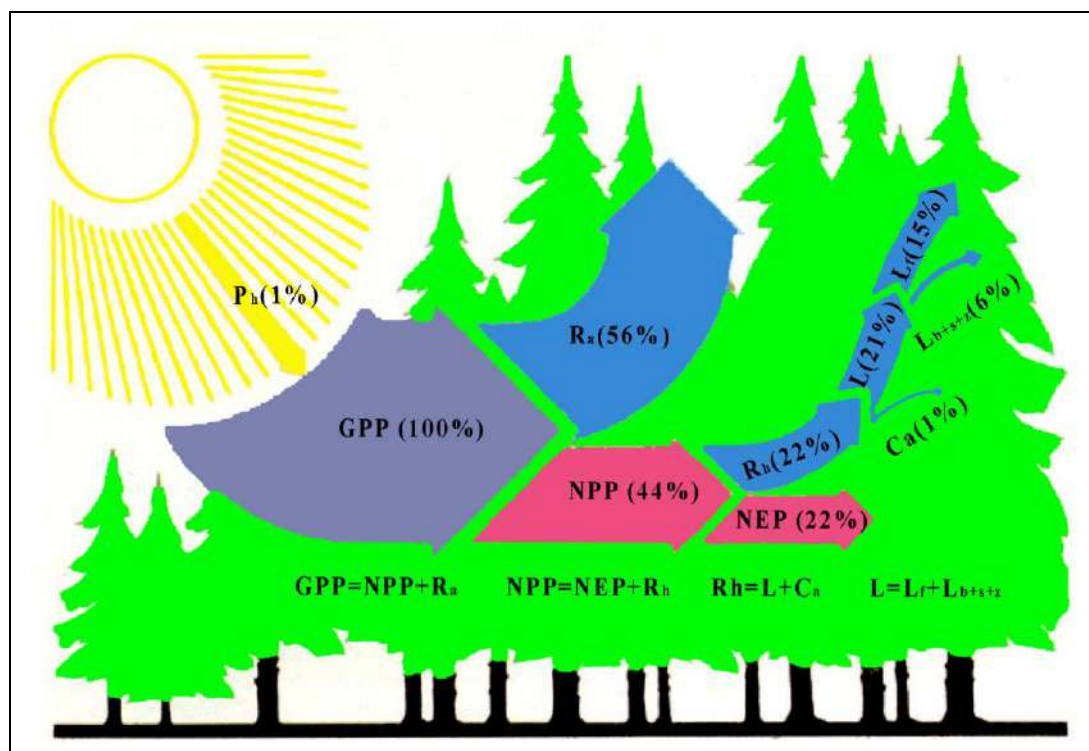


Рисунок 3.27. Первичная биологическая продуктивность [Лесная энциклопедия..., 1985]

Для определения *NPP* использованы данные дистанционного зондирования спектрорадиометра MODIS спутниковой системы Terra/Aqua -

продукт обработки MOD 17, содержащий данные о чистой первичной продукции. Исходными материалами для MOD 17 являются информация о типе экосистемы (продукт Land Cover MOD 12), индексе листовой поверхности (*LAI*), фракции фотосинтетически активной радиации, поглощенной растением (*FPAR*) - продукт MOD 15 [Heinsch et al., 2003]. В качестве метеорологических данных используются среднесуточные значения результатов реанализа системы MERRA [<http://gmao.gsfc.nasa.gov/merra>], позволяющей на основе информации сети метеорологических станций строить непрерывные поля метеорологических параметров для каждого пиксела геоизображения. Третьим компонентом при расчете чистой первичной продукции является радиационно-термодинамическая модель экосистем Biome Properties Lookup Table (*BPLUT*) [Running et al. 2000, White et al. 2000], основной задачей которой является восстановление значений эффективности фотосинтеза в определенных метеорологических условиях и типе экосистемы.

Рассмотрим более подробно методику расчета первичной продукции растений по данным дистанционных наблюдений. Приходящая коротковолновая солнечная радиация (*SWRAD*) не полностью усваивается растениями. Только половину коротковолновой радиации можно отнести к фотосинтетически активной радиации, падающей на растения (*IPAR*):  $IPAR = [0,45 \div 0,5] \times SWRAD$  (Вт/м<sup>2</sup>). Затем по спутниковым данным определяется доля фотосинтетически активной радиации, поглощенной растениями (*FPAR*) - фактически это коэффициент поглощения растениями в диапазоне 400-700 нм. В результате получается величина фотосинтетически активной радиации, поглощенной растениями (*APAR*):  $APAR = IPAR$  (Вт/м<sup>2</sup>)  $\times FPAR$ . Следующий этап - наиболее важный - переход от радиации к продукции растений в граммах углерода:  $GPP = \varepsilon$  (г\_С/Дж)  $\times APAR$  (Вт/м<sup>2</sup>), где *GPP* - валовая первичная продукция. г\_С/(м<sup>2</sup>  $\times$  с);  $\varepsilon$  - эффективность фотосинтеза. г\_С/Дж;  $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \times f(T) \times g(W)$ ;  $\varepsilon_{\max}$  - максимальная эффективность фотосинтеза данной экосистемы;  $f(T)$  и  $g(W)$  - функции зависимости  $\varepsilon$  от температуры и дефицита влажности воздуха. На последнем этапе происходит вычисление чистой

первичной продукции:  $NPP = GPP - R_a$ , где  $NPP$  - чистая первичная продукция,  $г\_C/(м^2 \times с)$ ;  $R_a$  - дыхание растений. Величина  $\varepsilon_{max}$  табулирована для каждой из геосистем. Функции  $f(T)$  и  $g(W)$  также определены для каждой из геосистем в радиационно-термодинамической модели экосистем *BPLUT*.  $R_a$  определяется по результатам спутниковых измерений индекса листовой поверхности и наземных метеорологических данных.

#### *Вегетационные индексы NDVI и EVI.*

Вегетационный индекс - показатель, рассчитываемый в результате математических операций с информацией разных спектральных каналов ДДЗ, который имеет отношение к параметрам растительности в данном пикселе космического снимка [Tucker, Sellers, 1986]. В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов [Черепанов, 2011]. Практически во всех вегетационных индексах используется соотношение красного и ближнего инфракрасного каналов, предполагающего, нахождения линии открытой почвы в ближней инфракрасной области, предполагающей нулевое количество растительности. Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI – один из самых используемых индексов [Wang, Price, Rich, 2001], прост в вычислении, имеет широкий динамический диапазон, лучшую чувствительность к изменениям в растительном покрове. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного и атмосферного фона. Расчет *NDVI MODIS Terra* основан на двух каналах: 1 (*NIR*) - 0,62-0,67

мкм, 2 (*RED*) - 0,841-0,876 мкм):  $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ .

Существуют индексы, основанные на NDVI, но корректирующие сразу несколько помехообразующих факторов, например, усовершенствованный вегетационный индекс (*Enhanced vegetation index – EVI*):

$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C1 \cdot RED - C2 \cdot Blue + L}$ , где *RED* - значения спектральной яркости

в красной области спектра, *NIR* - значения спектральной яркости в ближней инфракрасной зоне, *Blue* - значения спектральной яркости в синей области спектра, *G*, *L*, *C1* и *C2* - коэффициенты, равные 2.5, 1.0, 6.0 и 7.5 соответственно [Huete et al., 1997].

Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности значения составляют от 0.2 до 0.8

*EVI* был предложен для оптимизации вегетационного сигнала с целью повысить чувствительность в регионах с большим запасом биомассы (леса) и улучшить мониторинг вегетации путем уменьшения влияния почвенных и атмосферных условий на значение индекса. Индексы *EVI* и *NDVI* дополняют друг друга при исследовании растительности и повышают точность получаемых биофизических параметров [Huete et al., 2002].

Каждый компонент или элемент геосистемы в отдельности может служить объектом экологической оценки, имея в виду выяснение степени его позитивного или негативного влияния на жизнь людей [Исаченко, 2001; Белов, Соколова, 2014]. Однако значение того или иного природного фактора зависит от его сочетания с другими свойствами геосистем. Нередко экологический эффект различных природных факторов оказывается противоположным и взаимоисключающим. Следовательно, оценка природных экологических факторов должна быть комплексной - охватывать всю их совокупность и взаимные связи, воплощаемые в понятии экологический потенциал геосистем [Исаченко, 2003].

Для обработки и анализа полученных значений была построена GRID модель с регулярным шагом 90 угловых секунд (3 км). GRID (англ. «сеть», «решетка») - модель представляет собой регулярную матрицу количественных значений исследуемых факторов, полученную при интерполяции исходных данных, со значениями интерполированной величины в каждой ячейке матрицы.

К основным возможностям и особенностям GRID-моделирования относятся [Плюснин, Сороковой, 2013]:

- получение географических данных из различных картографических источников, их обновление,
- оперативность создания баз тематических данных,
- анализ территории в результате объективного совмещения пространственных единиц компонентов геосистем,

- создание новых электронных тематических карт.

На основе полученной GRID-модели по абсолютной высоте (рисунок 3.28) произведен расчет крутизны (рисунок 3.29) и экспозиции склонов (рисунок 3.30). Все полученные данные в виде регулярных сетей (абсолютная высота, крутизна и экспозиция склонов, среднегодовые осадки (рисунок 3.31), средняя температура января (рисунок 3.32), средняя температура июля (рисунок 3.33), значения вегетационных индексов NDVI (рисунок 3.34) и EVI (рисунок 3.35), первичной биологической продуктивности NPP) (рисунок 3.36) были конвертированы в векторный вид и представляют собой массив регулярно распространенных точек. GRID-модель Байкальской Сибири содержит 672048 точечных объектов.

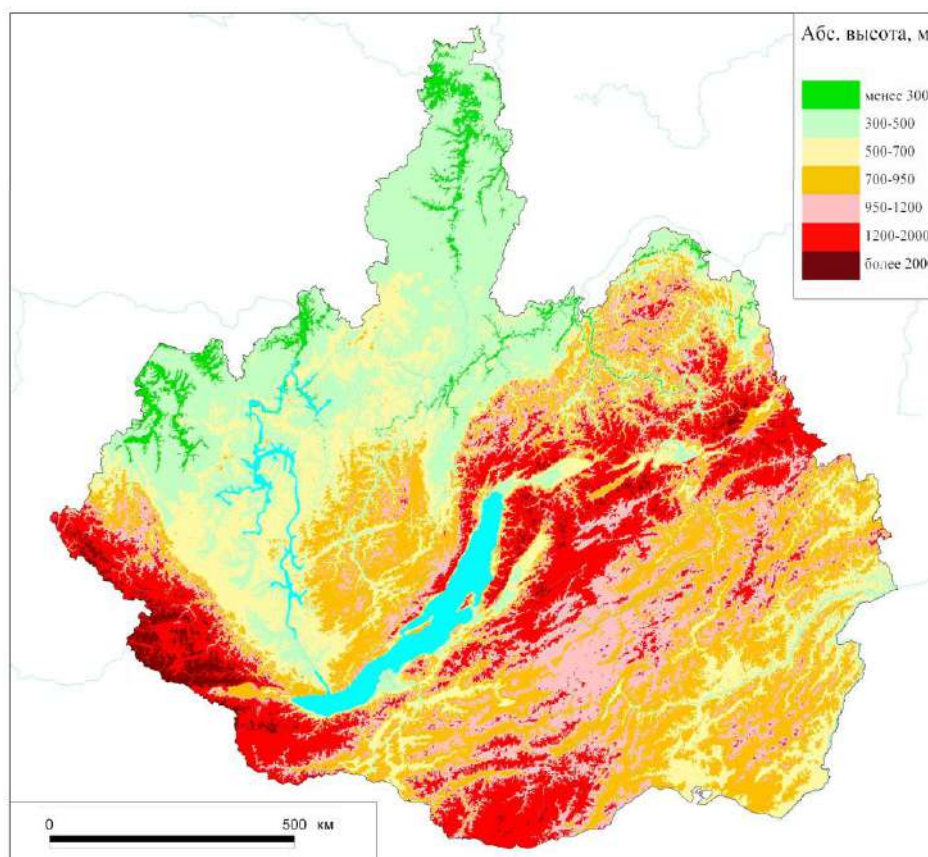


Рисунок 3.28. GRID-модель Байкальской Сибири. Дифференциация по абсолютной высоте.



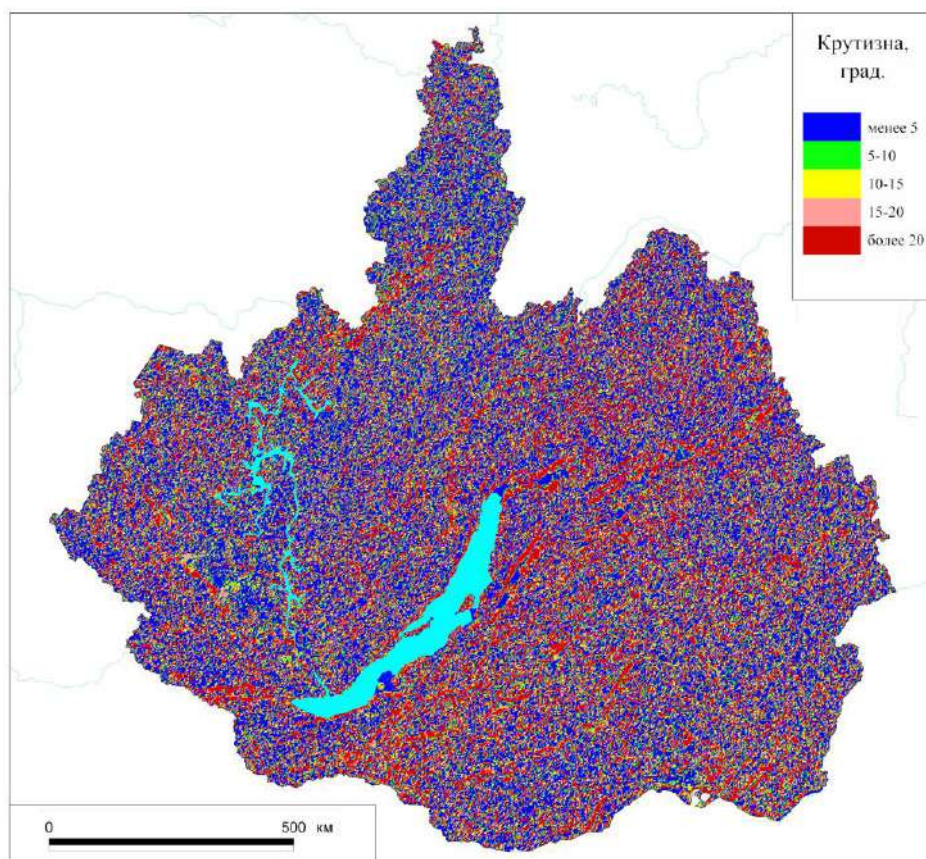


Рисунок 3.29. GRID-модель Байкальской Сибири. Крутизна склонов.

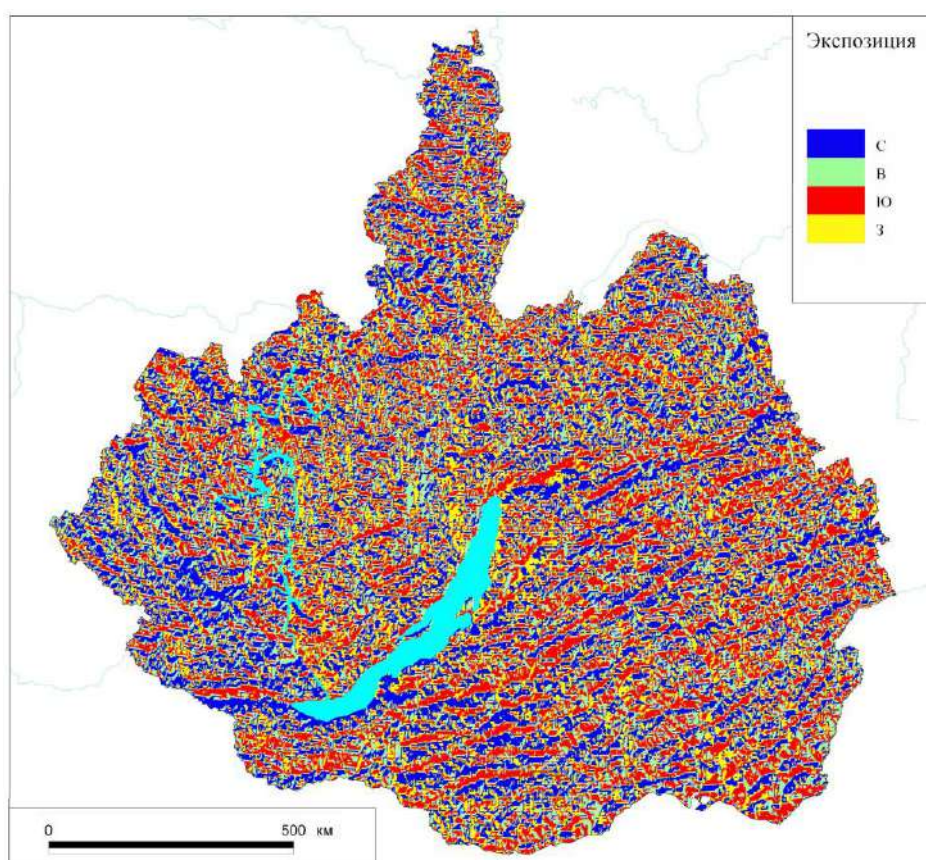


Рисунок 3.30. GRID-модель Байкальской Сибири. Экспозиция склонов.

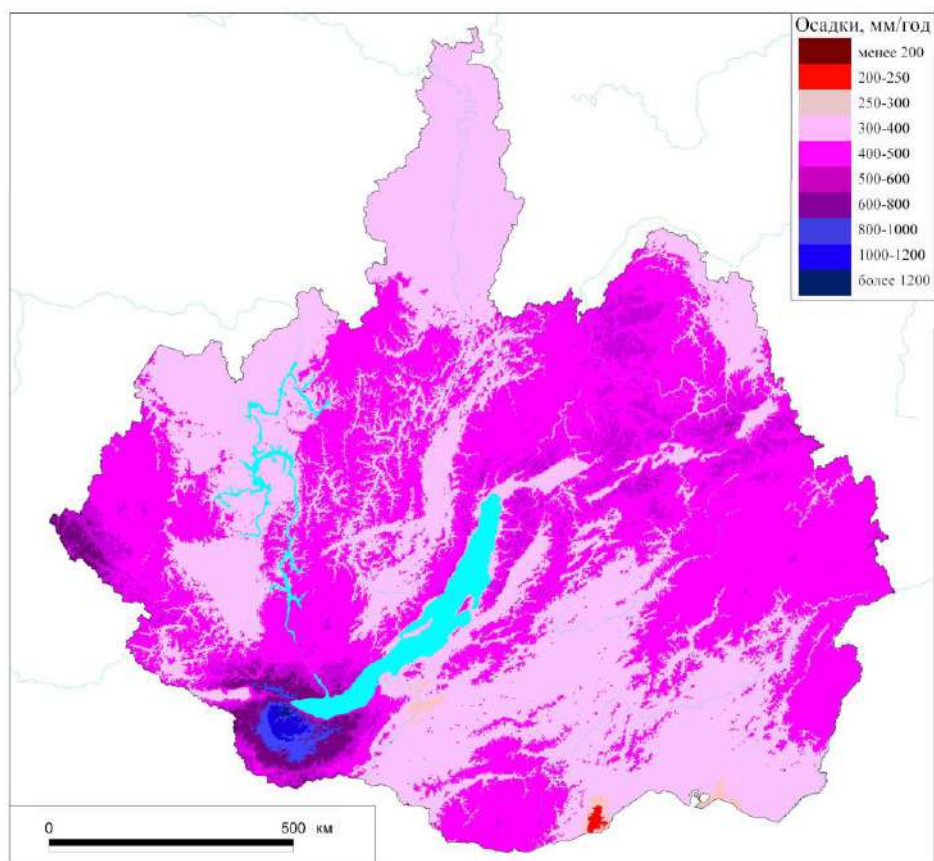


Рисунок 3.31. GRID-модель Байкальской Сибири. Среднегодовые осадки, мм/год.

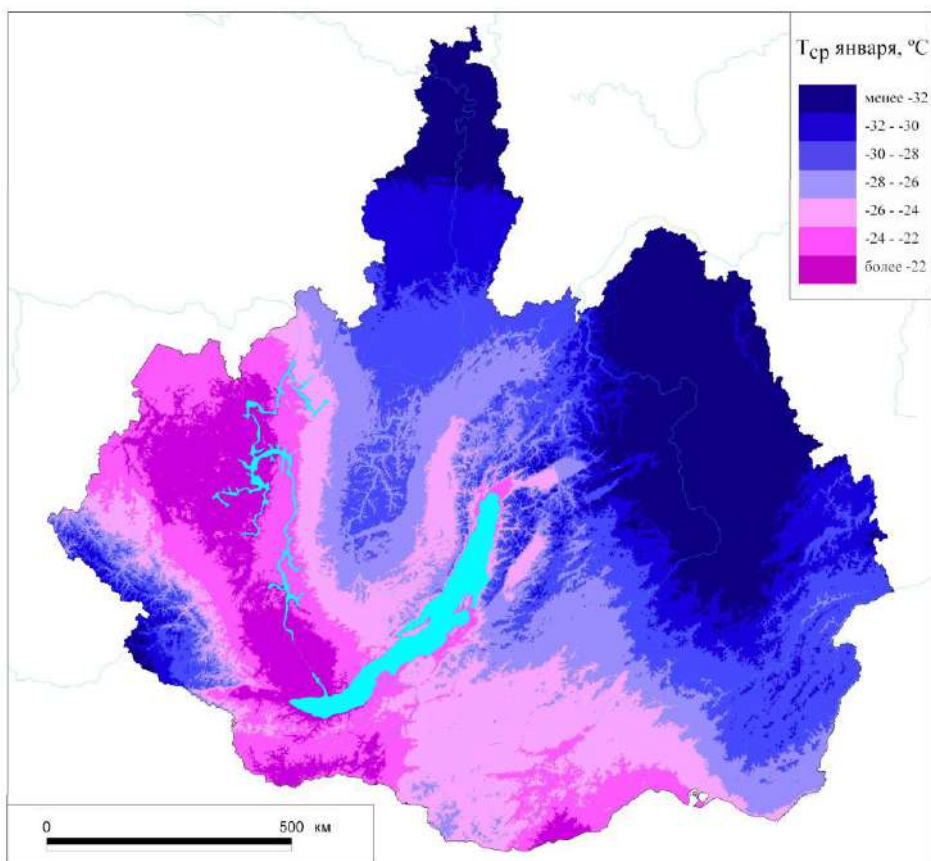


Рисунок 3.32. GRID-модель Байкальской Сибири. Средняя температура января, °С.

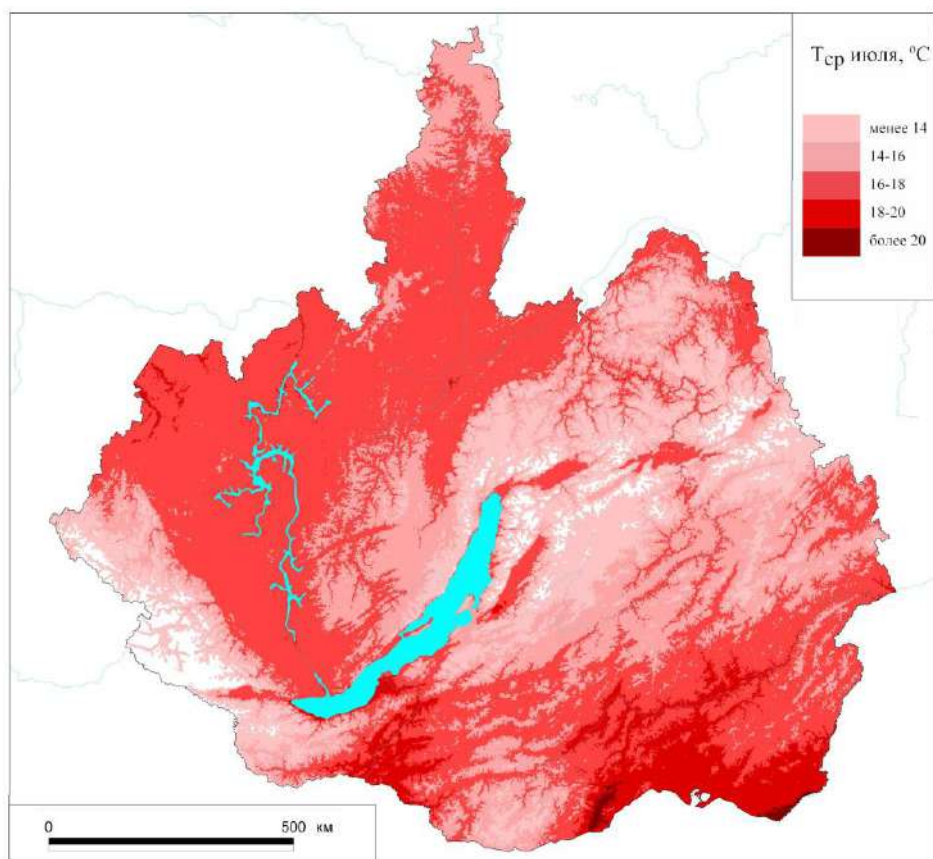


Рисунок 3.33. GRID-модель Байкальской Сибири. Средняя температура июля, °С.

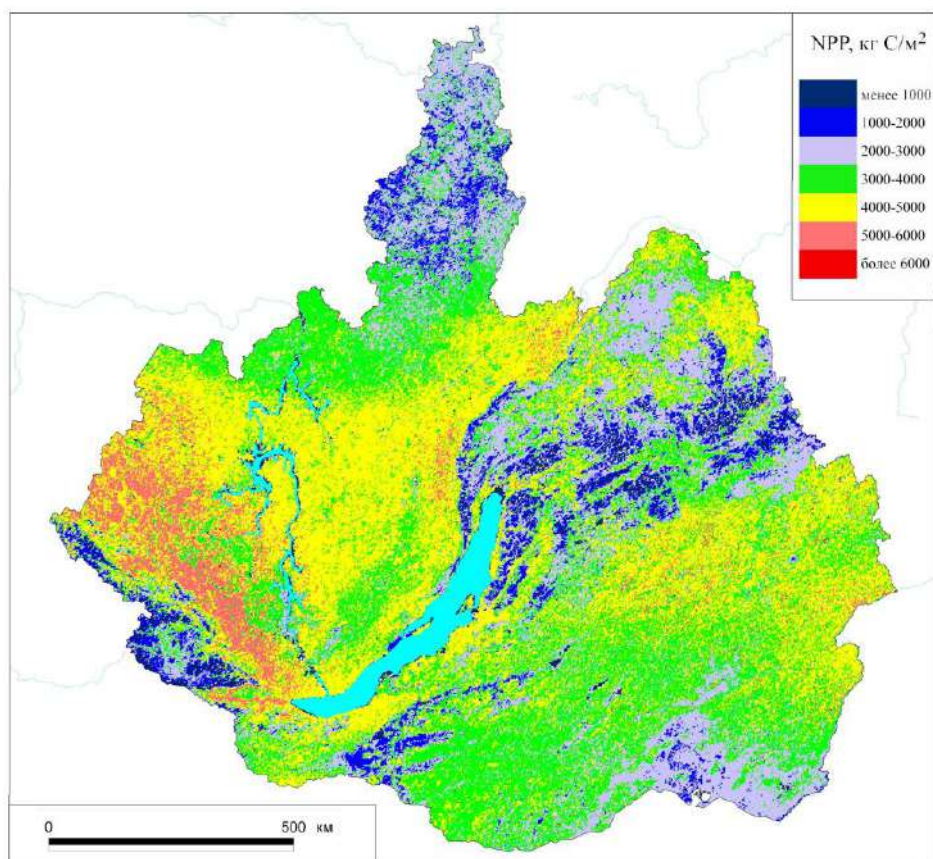


Рисунок 3.34. GRID-модель Байкальской Сибири. Первичная биологическая продуктивность NPP, кг С/м<sup>2</sup> · год<sup>-1</sup>.

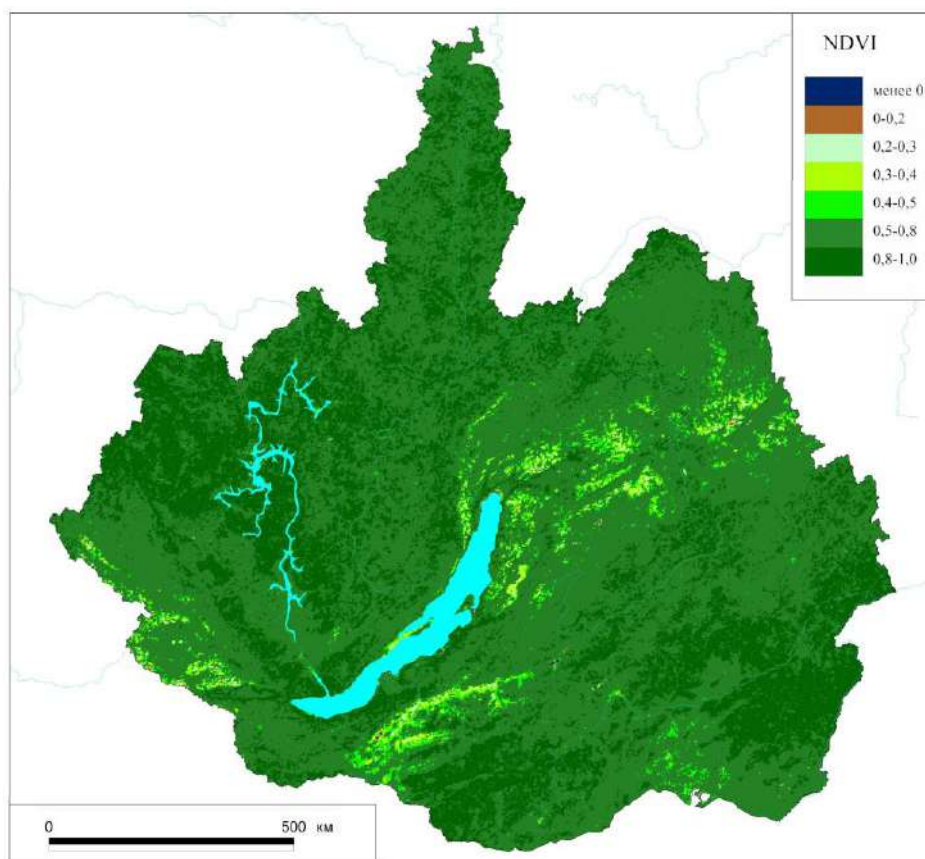


Рисунок 3.35. GRID-модель Байкальской Сибири. Значение вегетационного индекса NDVI.

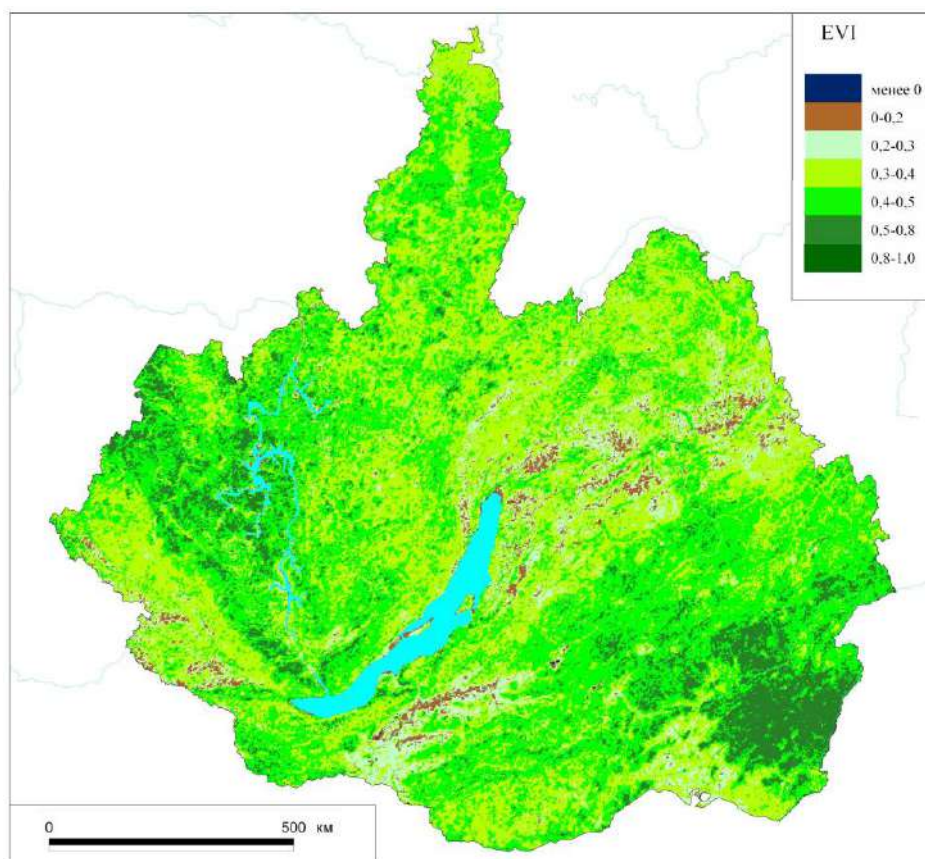


Рисунок 3.36. GRID-модель Байкальской Сибири. Значение вегетационного индекса EVI.

Для оценки экологического потенциала произведен перевод всех показателей к безразмерным величинам - проранжированы на 5 категорий: минимальные, низкие, средние, высокие, очень высокие значения.

Исчерпывающий охват всех возможных природных экологических факторов, определяющих экологический потенциал геосистем, практически невозможен. Необходимо отделить главные, определяющие факторы от второстепенных, т.е. учитывать их вклад (вес) в значение потенциала. Для определения весовых коэффициентов при расчете экологического потенциала использовался метод анализа иерархий - МАИ (Analytic hierarchy process) - математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений [Saaty, 1980]. Этот метод относится к классу критериальных и занимает особое место, благодаря тому, что он получил исключительно широкое распространение. МАИ предоставляет возможность понятно и рационально структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнивать и выполнять количественную оценку. В МАИ анализ проблемы принятия решений начинается с построения иерархической структуры, включающей цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, которые могут повлиять на выбор. Каждый элемент иерархии может демонстрировать различные аспекты решаемой задачи. На следующем этапе анализа с помощью процедуры парных сравнений определяются приоритеты, представляющие относительную важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры. Отличительная особенность МАИ – возможность обоснованно сравнивать разнородные факторы благодаря безразмерным приоритетам. На конечном этапе анализа происходит синтез (линейная свертка) приоритетов на иерархии, в результате чего определяются приоритеты альтернативных решений относительно главной цели. Альтернатива с максимальным значением считается лучшей [Vladimirov, 2018].

Иерархическая структура расчета экологического потенциала представлена на Рисунке 3.37.

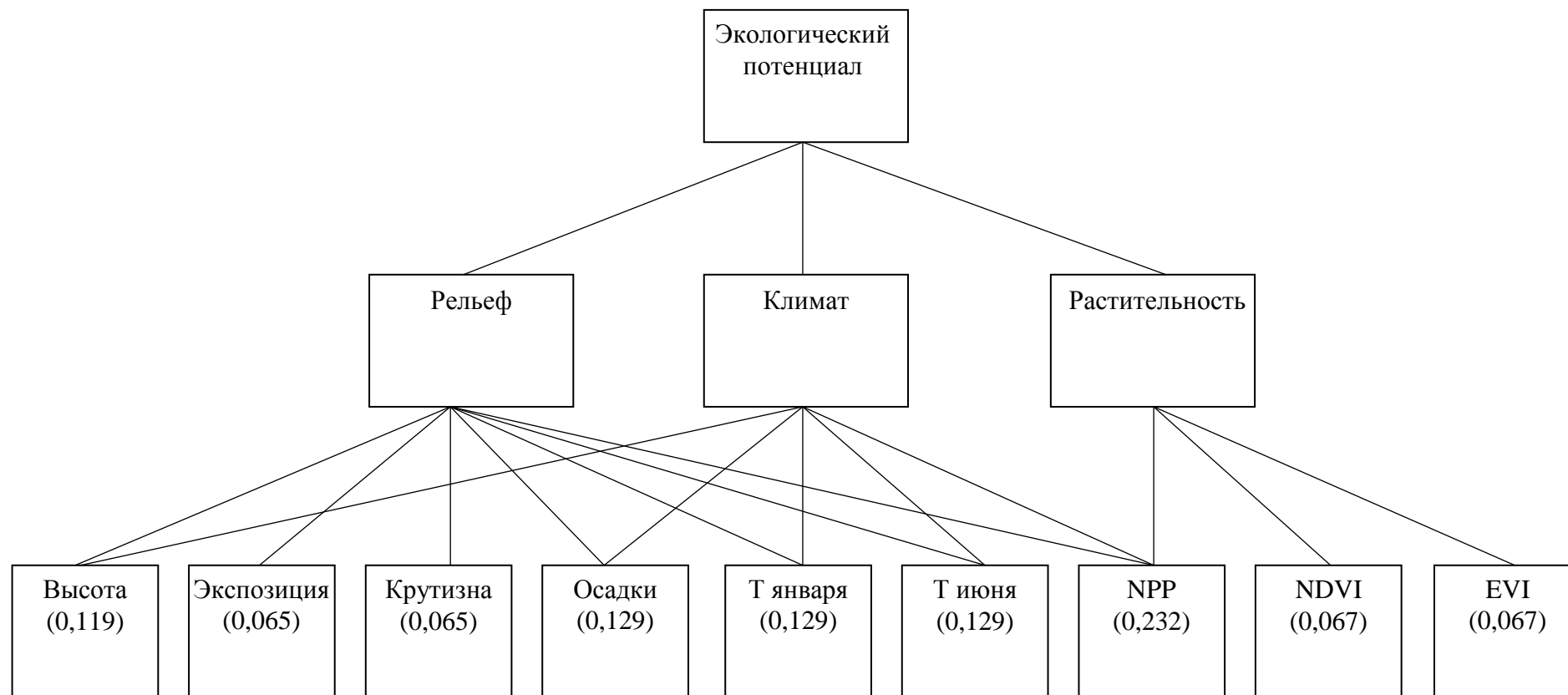


Рисунок 3.37. Иерархическая структура МАИ для расчета экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири.

Формула данной иерархической структуры выглядит следующим образом:

$$EP = (0,119H + 0,065A + 0,065S) + (0,129W + 0,129T_1 + 0,129T_7) + (0,232NPP + 0,067NDVI + 0,067EVI),$$

где  $H$  – высота (ранг),  $A$  – экспозиция (ранг),  $S$  – крутизна (ранг),  $W$  – среднегодовые осадки (ранг),  $T_1$  – средняя температура января (ранг),  $T_7$  – средняя температура июля (ранг),  $NPP$  – первичная биологическая продуктивность (ранг),  $NDVI$  – вегетационный индекс NDVI (ранг),  $EVI$  – вегетационный индекс EVI (ранг).

Результат расчета экологического потенциала представлен на Рисунке 3.38.

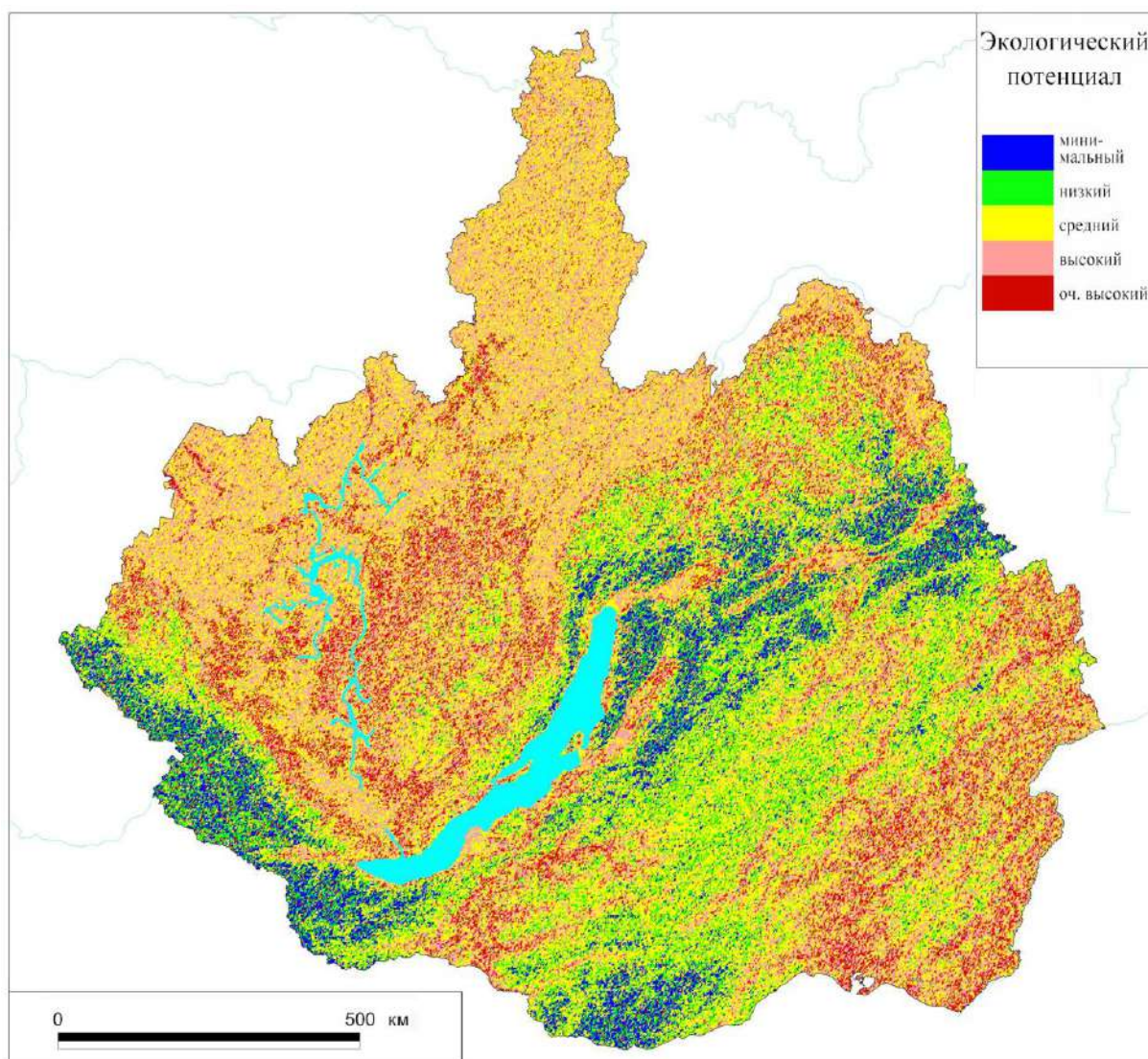


Рисунок 3.38. Экологический потенциал Байкальской Сибири

Таким образом, на основе разработанной методики с применением принципов GRID-моделирования и метода анализа иерархий и использованием рассчитанных данных в виде регулярных сетей построены специальные оценочные карты и определены весовые коэффициенты основных факторов формирования экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири.

К основным возможностям, особенностям и преимуществам GRID-моделирования относятся: получение географических данных из различных картографических источников, их обновление; оперативность создания баз тематических данных; анализ территории в результате объективного совмещения пространственных единиц компонентов геосистем; создание новых электронных тематических карт.

С использованием специальных оценочных карт природных условий и экологического потенциала геосистем появляется возможность дать общее представление об условиях существования в них людей, создать естественнонаучную основу для разумной региональной экологической политики.

\* \* \*

С учетом того, что природная среда продолжает эволюционно развиваться, в современных ландшафтах всегда присутствуют структурные черты ее будущего, они могут проявляться в коренных и устойчиво-производных геосистемах. Наиболее вероятно они формируются в зонах контакта различных природных зон (например, на границе таежной и степной зон), в разных зональных и высотно-поясных комплексах, имеющих свои особенности развития ландшафтно-географических процессов, и определяющие современный природный экологический потенциал геосистем.

Под природным (базовым) экологическим потенциалом понимается совокупность вещественно-энергетических ресурсов и свойств коренной



геосистемы, обеспечивающих ее максимально возможные структурно-функциональные параметры и полезные функции, которые могут быть использованы человеком.

Экологический потенциал геосистем зависит как от ее природных свойств, так и от направления и форм существующего хозяйственного использования. Он рассматривается с различных точек зрения (социально-экономической, хозяйственной, функциональной и т.д.). По отношению к каждой функции геосистема характеризуется определенным природным потенциалом - способностью выполнять эту функцию, сохраняя при этом свою структуру и природные особенности. В отличие от функции геосистемы, которая задается ей извне, можно сказать «навязывается» обществом, экологический потенциал - ее внутреннее, естественное свойство, которое геосистема имеет по отношению к любой функции, независимо от того - выполняет она ее в данный момент или нет.

При хозяйственном использовании необходимо оценивать не только характеристики коренных геосистем (природный экологический потенциал), но и потенциальные возможности производных и антропогенно-измененных геосистем. В основе этих возможностей лежит величина экологического потенциала коренной геосистемы, на месте которой в результате воздействия возникла производная геосистема с другой структурой и с другими вещественно-энергетическими свойствами. Для определения этих потенциальных возможностей предлагается использовать понятие «остаточный экологический потенциал» - совокупность вещественно-энергетических ресурсов и свойств геосистемы, сложившихся под влиянием хозяйственной деятельности, определивших современные структурно-функциональные параметры и полезные функции. Вещественно-энергетической базой остаточного экологического потенциала геосистемы является природный экологический потенциал.

Выявление особенностей развития ландшафтно-географических процессов, определяющих современный природный экологический

потенциал геосистем, важно для прогнозных построений; такие показатели оценки находят свое отражение на специальных оценочных и индикационных картах.

Средоформирующие и средозащитные свойства геосистем зависят от ее состояния, степени сохранности или нарушенности коренной структуры и глубины трансформации процессов ее естественного развития. Геосистемы обладают определенным потенциалом сопротивления внешним деструктивным воздействиям, который проявляется в их естественной устойчивости.

Специальные (оценочные, индикационные, ресурсные и т.п.) карты, составленные с помощью геоинформационных методов и разработанных методик моделирования, учитывающих эволюционно-генетический и динамический статус геосистем и их компонентов, состояние отдельных структурных компонентов геосистем, степень их нарушенности. характеристики устойчивости к антропогенным воздействиям, отражают, прежде всего, современное состояние эволюционного потенциала геосистем.

## **Глава 4. Прогнозное картографирование динамики и экологического потенциала геосистем**

Прогнозирование является необходимым и важным элементом эффективного управления любым сложным экономическим, социальным или природным процессом, или явлением. Степень совершенства методов прогнозирования и получения обоснованных результатов в значительной мере определяет достижение поставленных целей. Прогнозирование уже давно и широко используется в системе природопользования, что, естественно, требует своего научно-методического обеспечения.

Выявление, оценка и прогнозирование экологического потенциала геосистем образуют единый многоэтапный процесс географического прогнозирования, объединенный общей целью формирования научного обоснования экологически ориентированного природопользования в регионе с учетом его природно-географических особенностей.

В моделировании динамики геосистем и их компонентов, в настоящее время остается, пожалуй, больше вопросов, чем ответов. На всевозможных конференциях, симпозиумах и семинарах, часто отмечаются темы о проблемах моделирования геосистем, обсуждаются вопросы о правильности применения различных моделей, их верификации, до сих пор остается много вопросов и о самой природе моделей.

Источник динамизма геосистем - взаимоотношения между компонентами геосистем, которые возникают в процессе метаболизма, и в результате различного рода сукцессий [Сочава, 1980].

Исследуя динамику геосистем, подобно всем комплексам, охватывают меньшее или большее (вплоть до полного) число компонентов [Арманд, 1975; Владимиров, 2004]. Придавая геосистемам функциональное значение, ограничиваются рассмотрением их каким-либо процессом или группой процессов [Ретеюм, 1971].

Одним из эффективных способов исследования и моделирования геосистем является изучение одного компонента геосистемы в среде геосистемы (на фоне остальных компонентов) [Владимиров, 2004; 2018].

При изучении геосистем выделяются два основных подхода: биоцентрический и полицентрический. Отличие подходов состоит в том, что при биоцентрическом подходе основное внимание уделяется биоте, а остальные компоненты геосистем рассматриваются только как среда протекания динамических процессов. При полицентрическом подходе взгляд исследователя полицентричен, то есть одинаково сосредоточен как на биотических, так и на абиотических компонентах геосистем. [Петров, 2001].

Необходимо уточнить, что «биота - сложный блок (или несколько блоков) геосистемы, во многих случаях ее критический компонент. Одновременно биота в пределах геосистемы образует и особую совокупность связей (биологически наиболее значимую), заключающую главнейшие факторы, воздействующие на ее структуру... По разным причинам - объективным и субъективным, говоря о биоте, мы часто имеем в виду преимущественно ее растительный ингредиент» [Сочава, 1980, с. 134].

Большинство компонентов геосистем, среди которых и биота (растительность), представляют собой подчиненные (по отношению ко всей геосистеме) открытые системы. Точнее, геосистема - это своеобразная комбинированная система с обратной связью, в которую биота входит на правах особого блока [Владимиров, 2004]. Если представить себе взаимоотношения и функции блоков внутри геосистемы, имея в виду и обратные связи, то следует признать, что функциональная самостоятельность растительности по отношению ко всем другим компонентам проявляется с достаточной очевидностью. Растительность представляет едва ли не лучший индикатор флуктуации природных режимов и в этом отношении может использоваться как в познавательных, так и практических целях [Сочава, 1980]. Вместе с тем динамические процессы, характерные для растительного сообщества, выполняют стабилизирующую функцию по отношению как самому сообществу, так и к вмещающей их геосистеме.

Растительный покров обычно представляется как интегральный индикатор преобразования геосистем, и, следовательно, в географическом прогнозировании наиболее эффективными являются принципы геоботанического прогнозирования, предложенные академиком В.Б. Сочавой

[1979]. Опыт их успешного применения в разработке эволюционно-динамического подхода [Крауклис, 1979; Сочава, 1980; Белов, Соколова, 2011, 2014; Владимиров и др., 2014] подтверждает правомерность применения подхода в моделировании динамики геосистем, при котором основное внимание уделяется растительности, а все остальные компоненты рассматриваются как среда протекания динамических процессов в геосистеме. Данное положение применимо и для других компонентов геосистем (рисунок 4.1).

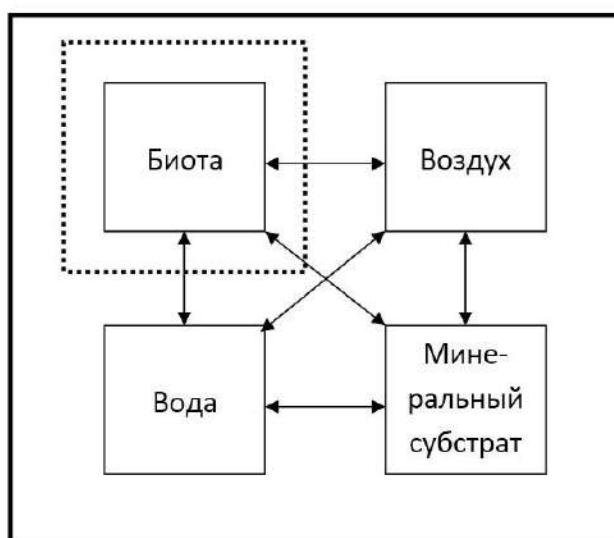


Рисунок 4.1. Схема исследования динамики геосистем

Динамические процессы направляются ныне действующими факторами; часто являющимися ритмичными. К сожалению, не всегда четко проводится четкая грань между динамикой природной среды и ее развитием в процессе исторической трансформации (эволюцией). Более того, часто не принимается во внимание, что любая природная система (особенно это относится к растительным сообществам) всегда находится в определенном динамическом состоянии. Вне данного состояния не существует структуры ни геосистемы, ни вмещенной в нее растительности [Сочава, 1980].

Вместе с тем динамические процессы растительного сообщества и всей системы тесно сопряжены [Сочава, 1978]. В известной мере изменение состава растительности управляет геосистемой, оказывая влияние на почвообразовательный процесс, круговорот воды, микроклимат и другие компоненты природы. Растительность является движущей силой динамики геосистемы [Крауклис, 1979; Сочава, 1980; Bürgi, Hersperger, Schneeberger,

2005].

#### **4.1. Антропогенная нарушенность и динамика геосистем Байкальской Сибири**

Как известно, под динамикой понимаются изменения, происходящие с геосистемой, которые имеют обратимый характер и не приводят к перестройке ее структуры, другими словами – динамика геосистемы происходят в пределах одного инварианта. Динамика геосистемы служит выражением ее устойчивости, так как она указывает о способности геосистемы возвращаться к исходному состоянию.

Растительность как один из самых важных (критических) компонентов геосистем функционально контролирует развитие и интенсивность многих процессов. Одновременно растительность является и прекрасным индикатором состояния окружающей природной среды, ведь именно она быстрее всех реагирует на воздействие различных антропогенных факторов [Белов, Владимиров, Соколова, 2016]. Собственно, состояние растительности в значительной степени обуславливает экологический и эколого-ресурсный потенциал [Владимиров, 2015] и определяет характер социально-экономического развития территории. Таким образом, растительность является важным фактором территориального развития, стимулирующий или ограничивающий его.

Материалы Landsat Forest Cover Change (LFCC 1990-2000, LFCC 2000-2005), представляющие собой массив растровых геоизображений об изменении лесного покрова с пространственным разрешением 30 м. Основой для LFCC 1990-2000, LFCC 2000-2005 являются данные Global Land Survey (GLS) – набор лучших изображений со спутников серии Landsat, охватывающих весь земной шар, выполненных на временной период 1975, 1990, 2000, 2005 и 2010 гг. Данная информация позволяет проследить динамические изменения в геосистемах, обусловленные антропогенным вмешательством (вырубки, лесные пожары, распашка и т.д.), а также восстановительную динамику в лесном покрове за последние 50 лет [Белов и др., 2016].

Карта глобальных изменений лесного покрова в XXI веке [Hansen et al., 2013], созданная на основе съемки спутников Landsat и отражающая фактическое изменение с 2000 года покрытых лесом площадей, включает не только потери лесного покрова в результате вырубок, пожаров, ветровалов и т.д., но и его увеличение в результате восстановительной динамики на вырубках, гарях, брошенных сельхозугодиях и т.п.

Глобальная карта типов растительного покрова ESA GlobCover 2009 (версия 2.3) с пространственным разрешением 300 м создана на основе данных ENVISAT MERIS.

С использованием данных LFCC 1990-2000, LFCC 2000-2005, High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change была получена информация об очагах нарушений лесной растительности Байкальской Сибири за период 1975-2015 гг. (рисунок 4.2).

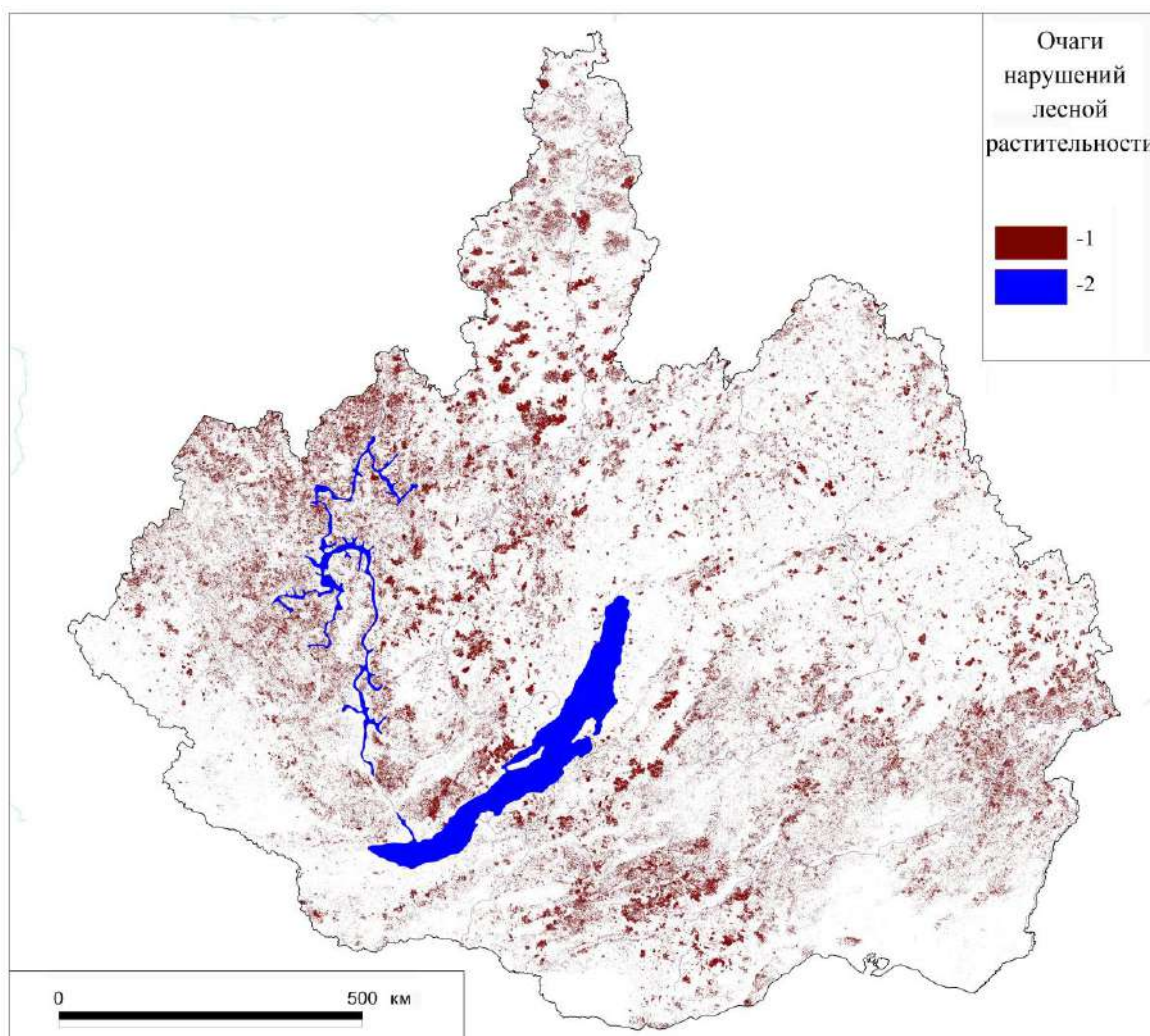


Рисунок 4.2. Очаги нарушений лесной растительности Байкальской Сибири за период 1975-2015 гг. 1 - очаги нарушений, 2 – гидрография.

Данные Landsat Forest Cover Change были конвертированы в векторный вид и содержат информацию за периоды 1990-2000 гг. и 2000-2005 гг. об участках, покрытых лесной растительностью, не покрытых лесной растительностью, потерявших лесную растительность в результате рубок, пожаров и т.п., участках на которых произошло восстановление лесного покрова [Владимиров, 2015а] (рисунок 4.3).

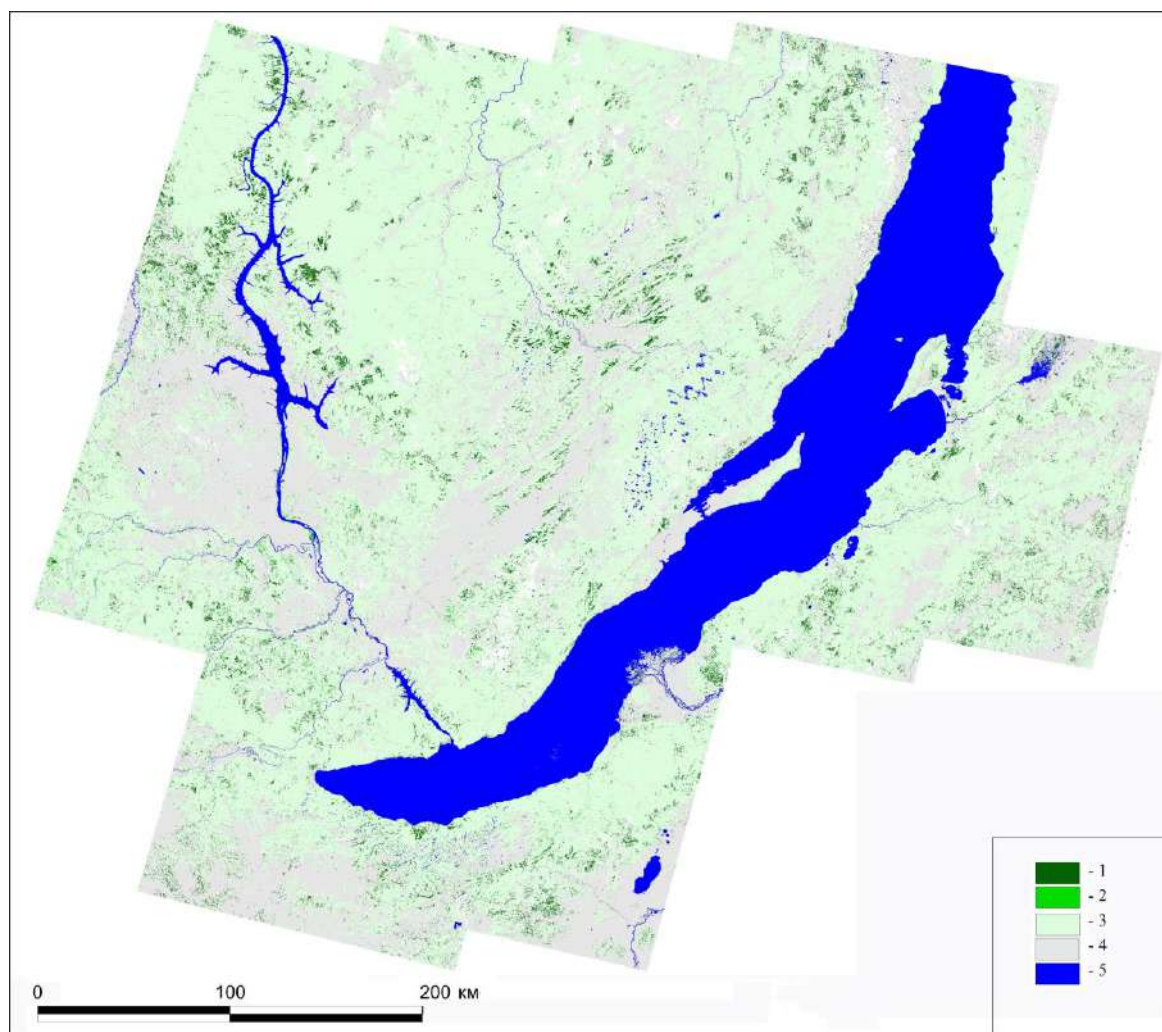


Рисунок 4.3. Восстановительная динамика лесной растительности геосистем. 1 – восстановление лесного покрова за период 1990-2000 гг., 2 – восстановление лесного покрова за период 2000-2005 гг., 3 – лесные территории, 4 – не покрытые лесом территории, 5 – водные объекты.

На основе полученной информации об очагах нарушений и данных карты типов растительного покрова ESA GlobCover 2009 была проведена картографическая оценка антропогенной нарушенности растительности геосистем. Она представляется одним из наиболее эффективных методов



оценки вторичного экологического потенциала и решения многих вопросов охраны природы и рационального использования природных ресурсов Байкальской Сибири. Показатель антропогенной нарушенности растительности геосистем оценивался по степени отклонения в составе и структуре растительных сообществ от их коренного состояния.

Нарушенность растительности геосистем Байкальской Сибири определяется использованием ее как промышленного и сельскохозяйственного ресурса [Владимиров, 2018]. Промышленные лесозаготовки приводят к смене коренных хвойных лесонасаждений на вторичные мелколиственные, менее ценные для лесного хозяйства. Вырубкам, в основном, подвергаются светлохвойные леса доступные в транспортном отношении. К повышению пожарной и энтомологической опасности приводит остающееся на вырубках низкотоварное сырье и порубочный мусор.

Леса Байкальской Сибири ежегодно подвергаются пожарам, особенно сильными в количественном и пространственном масштабе в последние годы (2015-2019 гг.). Пожарами повреждаются не только лесные сообщества, но и другие типы растительности, такие как горные тундры, подгольцовые заросли кедрового стланика, ерники, степи и др. [Экологический..., 2015]. Что ведет к увеличению площадных характеристик гарей, замещению коренных лесов на вторичные, уничтожению не только растительности, но и значительной части животного мира, разрушению почвенного покрова, развитию эрозии, опустыниванию территорий, и в итоге – к полной перестройке геосистем.

На степную растительность негативное воздействие оказывают распашка земель и нерациональное использование территории под пастбища. Пастбищная дигрессия растительности коренным образом вносит изменения в видовой состав и структуру степных и луговых сообществ.

В труднодоступных и не освоенных высокогорных территориях региона, где отсутствует активная хозяйственная деятельность, сохраняется условно ненарушенная (коренная) растительность. В результате проведенного анализа и оценки современного состояния растительности

геосистем на карте были выделены четыре категории нарушенности растительности - условно коренная, слабо-, средне-, сильнонарушенная (Рисунок 4.4).

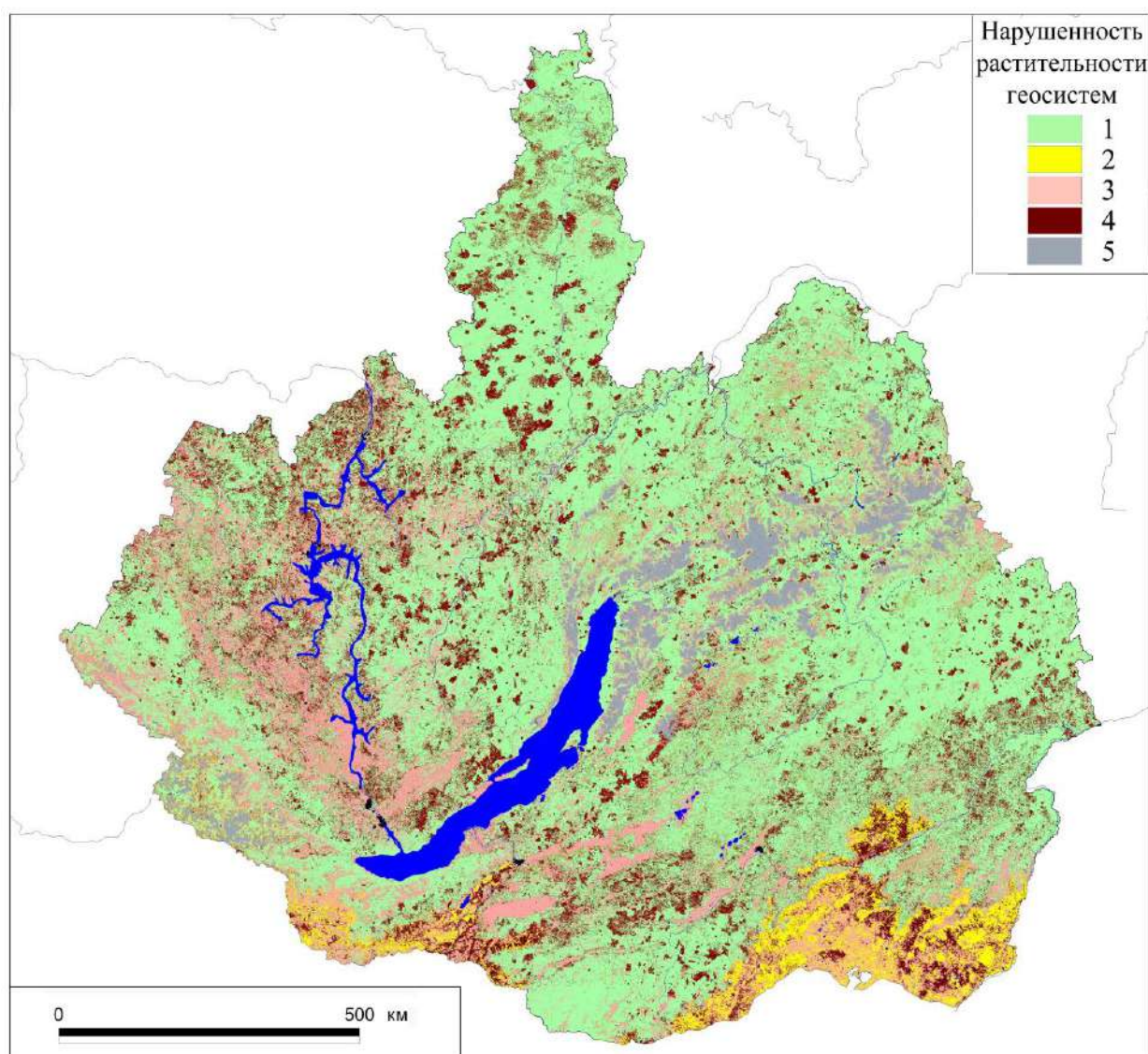


Рисунок 4.4. Нарушенность растительности геосистем Байкальской Сибири.

1 – условно коренная, 2 – слабонарушенная, 3 – средненарушенная, 4 – сильнонарушенная, 5 – участки без растительности или со скудной растительностью (гольцы, свежие гари, и т.д.)

Как уже было отмечено, среди компонентов геосистем особенно важное значение приобретает растительность, являясь неотъемлемым и даже критическим компонентом геосистем. Нарушенность растительности геосистем может использоваться как критерий оценки степени остаточного

экологического потенциала геосистем. Так, условно коренная растительность в данном случае соответствует высокому потенциалу, слабонарушенная - значение остаточного экологического потенциала выше среднего, средненарушенная – среднее значение остаточного экологического потенциала, сильнонарушенная – низкий потенциал.

#### **4.2. Восстановительно-возрастная динамика лесного покрова в разных ландшафтных ситуациях (ландшафтная идентификация)**

Выявление изменений структуры лесных сообществ, в частности их восстановительно-возрастной динамики, нередко выступает как самостоятельная проблема в составе различных экологических программ, например, экологического мониторинга или прогнозирования. Изучение многогранных аспектов проблемы имеет давнюю историю, а в лесоведении она прослеживается с начала XX века с момента появления учения о типах насаждений (типах леса) Г.Ф. Морозова [1903, 1931].

Представление о типе леса как динамичной системе, меняющей структуру во времени, легло в основу «генетического» направления в лесной типологии, разносторонне и подробно разработанного Б.П. Колесниковым [1956, 1958, 1967] и продолжающегося совершенствоваться [Смолоногов, 1994, 1998; Кузьменко, Смолоногов, 2000; Кузьменко, Михеев, 2008; Кузьменко и др., 2013].

В ландшафтоведении изучение динамики природной среды было начато в трудах В.Б. Сочавы в 60-х гг. XX века, когда наметилось усиление интереса к разработке концепции ландшафтной фации и увязке ее с учением о биогеоценозах В.Н. Сукачева [Крауклис, Бессолицына, 1980]. Оно тесно связано с аксиомой о переменных состояниях ландшафтной фации.

В.Б. Сочавой [1974, 1978, 1986] разработано представление об инварианте геосистем как структурно-динамической «целостности», в которой к одной структуре относятся коренная ландшафтная фация, ее серийные варианты и антропогенные модификации. Данная концепция переменных состояний геосистем, той или иной степени, развивалась при

изучении и моделировании восстановительных смен древостоев и их возрастной динамики в таежных фациях Нижнего Приангарья [Крауклис, 1969, 1975, 1979; Черкашин, 1978, 1979, 1981, 1984].

Развитие представлений о генетическом типе леса в лесной биогеоценологии и переменных состояниях ландшафтной фации в физической географии привело к необходимости сопоставления этих понятий. Очень часто в лесной типологии рассматривают территориально разобщенные лесные биогеоценозы (участки леса), сходные по лесорастительным условиям и динамике во времени лесообразователей, а также других биокomпонентов, как генетический тип леса, объединяющий соответственно совокупность ландшафтных выделов и равнозначный ландшафтной фации [Смолоногов, 1998; Кузьменко, Смолонгов, 2000]. В физической географии восстановительно-возрастная динамика леса может рассматриваться как частный случай динамики состояния структурных компонентов геосистем и включаться в понятие «переменное состояние геосистем».

Для анализа таежных геосистем имеют важное значение: восстановительно-возрастная динамика, определяющая ближние перспективы изменения лесного покрова; изменения после воздействия естественных или антропогенных разрушительных факторов, позволяющие оценить потенциальные возможности восстановления лесного покрова, его будущие свойства и хозяйственную значимость; изменения, связанные с процессами преобразования геосистем, определяющие возможности формирования биогеоценозов в новых формирующихся условиях среды. Первые два типа изменений приводят к восстановлению и стабилизации лесного покрова, третий тип динамики характеризуется как преобразующий.

Когда проблема сукцессии и эквифинального (устойчивого) состояния стала рассматриваться в географии, для понимания сущности динамической природы геосистем академиком В.Б. Сочавой [1978] были предложены понятия «инварианта геосистем» и «коренной фации». Производные и серийные геосистемы стали рассматриваться в связи с понятиями коренной,

условно-коренной и квазикоренной ландшафтных фаций.

Выявить территориальные особенности восстановительно-возрастной динамики таежных геосистем позволяет установление изменений в структуре древостоев через особенности разнообразия их состава. Данный подход обоснован положением о том, что распространение растительных сообществ сукцессионного или демулационного ряда в пространстве может соответствовать их последовательным изменениям во времени [Clements, 1928], и соответствующими представлениями Н.В. Третьякова [1927] о том, что для изучения хода роста, насаждения разных возрастов, имеющие сходную историю формирования и произрастающие в одинаковых лесорастительных условиях (типе леса), целесообразно объединять в один естественно-генетический ряд развития.

Идея согласованной классификации растительного покрова с ландшафтно-географической позиции была выдвинута В.Б. Сочавой [1957]. Лесные биогеоценозы в зависимости от характера лесорастительных условий соответствуют элементарным выделам тех или других ландшафтных фаций. Совокупность лесных биогеоценозов того же типа лесорастительных условий объединяется в тип леса генетической классификации и соответствует определенной ландшафтной фации [Кузьменко, Смолоногов, 2000; Кузьменко, Михеев, 2008].

Как известно, в разных геосистемах неодинаковы как подверженность тайги стихийным разрушениям и ее чувствительность к естественным и антропогенным воздействиям, так и ход ее восстановления. Исследование географических закономерностей динамики этих процессов необходимо для обеспечения рационального использования и сохранения, улучшения и увеличения таежных лесов региона. Вместе с тем познание динамики нарушений и восстановления, сукцессии и возрастных смен леса в главнейших типах ландшафтных единиц и в различных ландшафтных регионах представляет большой научный интерес, в частности для разработки теоретически обоснованной и практически действенной эколого-географической классификации таежных земель, оценки коэффициентов

моделей прогнозирования динамики таежных лесов с учетом ландшафтной структуры.

Наблюдаемые в Приангарской тайге процессы восстановительно-возрастной динамики обязаны своим возникновением преимущественно лесным пожарам и сплошным рубкам. Другие факторы, уничтожавшие древостой или резко изменяющие условия среды в них, не имеют на данной территории сколько-нибудь широкого распространения.

Вспышки массового размножения энтомофитов имеют в лесах региона локальное распространение и охватывают очень небольшую часть площади. Промышленные рубки в скольких-нибудь значительных масштабах начаты в пределах региона лишь после 50-х годов XX века [Владимиров, 2002]. В настоящее время ими освоена значительная часть Приангарской тайги. Однако никто не умаляет лесообразующего значения пожаров, поскольку вырубки обычно горят, да и восстановление леса на сплошных концентрированных вырубках еще только начинается, так как большинство их образовалось в последние десятилетия. В настоящее время представляется возможным наметить лишь начальные стадии процесса возникновения и развития лесов на месте этих вырубок. Все остальные стадии восстановительной динамики местных лесов определяются лесными пожарами.

Пожары охватывали в разное время всю территорию региона, по данным Л.В. Попова [1982] на водораздельных пространствах и высоких террасах долин рек признаки бывших ранее лесных пожаров обнаруживаются повсеместно, разнообразие лесов в этих условиях складывается из послепожарных стадий их восстановления.

Направленность восстановительно-возрастной динамики лесов определяется особенностями ландшафтной структуры территории (лесорастительными условиями). На небольших территориях различия этого процесса зависят от почв и положения относительно элементов рельефа. В не меньшей степени на этот процесс влияют и климатические факторы, поэтому в различных частях Приангарья, даже в аналогичных по почвам и рельефу

местах, восстановительно-возрастная динамика лесов происходит неодинаково.

В районах Приангарья достаточно отчетливо выделяются следующие восстановительные ряды типов леса по Л.В. Попову [1982]:

I. Ряд темнохвойной тайги на дерново-подзолистых и дерново-лесных железистых суглинистых почвах дренированных водоразделов и склонов.

II. Ряд темнохвойной тайги на дерново-подзолистых и дерново-лесных железистых суглинистых и глинистых почвах плоских водоразделов и увлажненных склонов.

III. Ряд сосняков на дерново-подзолистых и дерново-лесных железистых суглинистых почвах с периодическими пожарами.

IV. Ряд сосняков на дерново-подзолистых и подзолистых почвах легкого механического состава.

V. Ряд сосняков на песчаных подзолистых почвах водоразделов и верхних террас долин рек с периодическими низовыми пожарами.

VI. Ряд светлохвойных лесов на дерново-карбонатных, почвах с длительными межпожарными периодами.

VII. Ряд светлохвойных лесов на дерново-карбонатных почвах с частыми беглыми низовыми пожарами.

VIII. Ряд сосняков на дерново-подзолистых и дерново-лесных железистых суглинистых и глинистых почвах северной части с периодическими пожарами.

IX. Ряд ельников нижней части склонов с дерново-подзолистыми и дерново-лесными железистыми почвами.

X. Ряд лиственничников на склонах с дерново-подзолистыми и дерново-лесными железистыми суглинистыми и глинистыми почвами.

XIV. Ряд кедровников невысоких водоразделов с дерново-подзолистыми почвами.

Классификация восстановительных рядов, предложенная Л.В. Поповым [1982] для подзоны Южной тайги Средней Сибири во многом подобна классификации геомов и классов фаций для этой территории,

выделенных В.Б. Сочавой [1978]. Например, ряд темнохвойной тайги на среднеподзолистых и дерново-лесных железистых суглиннистых почвах дренируемых водоразделов и склонов реализуется в границах среднесибирского южно-таежного темнохвойно-лесного геома (класса фаций по В.Б. Сочаве) фиксированных возвышенностей [Крауклис, 1969]. Существующие связи фациальных структур территории с динамикой лесонасаждений, во-первых, позволяют более объективно выделять геосистемы на местности, и, во-вторых, судить о динамике леса в той или иной точке пространства по результатам картографирования ландшафтов на геосистемной основе.

Для ареалов фаций плакорного ряда в Приангарье, приближенных по своему строению к зональной норме, на гарях восстановление идет через осинники и сосняки с последующим формированием темнохвойного древостоя с преобладанием (по числу стволов) пихты. Фации субгидроморфного ряда, видоизмененные главным образом процессами влагопереноса, определяют появление сукцессий с иной последовательностью смены пород: березняки замещаются пихтарниками.

Различные степени обобщения вариантов динамических процессов по отдельным фациям путем объединения (агрегирования) стадий, относящихся к разным сукцессионным рядам, дают схемы развития, соответствующие геомерам более высокого, чем фация, таксономического ранга (группы и классы фаций, геомы). Общим свойством приведенных выше рядов сукцессии является формирование коренных темнохвойных лесов через смену светлохвойных и лиственных насаждений соответствующего породного состава. Восстановительно-возрастная динамика лесов подобной направленности характерна для среднесибирского южно-таежного темнохвойнолесного геома фиксированных возвышенностей [Крауклис, 1985].

Территория ключевого участка в Усть-Илимском районе Иркутской области в лесотипологическом отношении относится к Среднеангарскому округу сосновых и лиственничных лесов [Попов, 1982] и охватывает



междуречье р. Ковы и р. Ангары и низовье р. Илима. Территория округа представляет собой возвышенную равнину, слабо расчлененную эрозионной сетью в центральной части междуречья и довольно сильно вблизи долины р. Ангары и р. Ковы. Стоковая структура водоразделов во многих местах нарушена выходами траппов, которые особенно многочисленны у долин крупных рек.

Распространены здесь дерново-подзолистые и дерново-лесные железистые почвы, формирующиеся на богатых окислами железа продуктах трансформации различных по возрасту пород (туфогенных пород триаса на севере, каменноугольных и юрских песчаников и конгломератов в центре). На юге региона залегают карбонатно-сиаллитные осадки верхнего ордовика, на которых кроме дерново-подзолистых, нередко остаточного-карбонатных пород, встречаются небольшие участки дерново-карбонатных выщелоченных и оподзоленных почв.

В лесотипологическом отношении этот округ является переходным. Занимающие более половины лесопокрытой площади сосновые леса размещены преимущественно на сравнительно низких отметках вдоль долин р. Ангары и р. Ковы. Они представлены на севере региона сосняками ряда VIII, на юге сосняками ряда III. Небольшие площади и только в южной части округа приходится на сосняки ряда VI светлохвойных лесов на дерново-карбонатных почвах.

Лиственничные леса ряда X размещены по склонам и выходят местами на плоские слабо заболоченные водоразделы. На юге округа встречаются лиственничники ряда VI светлохвойных лесов на дерново-карбонатных почвах. Под лесами с преобладанием лиственницы находится почти четверть лесопокрытой площади.

Еловые леса, покрывающие около 5% площади, представлены ельниками нижней части склонов (ряд IX), а на юге также ельниками ряда II темнохвойной тайги на дерново-подзолистых и дерново-лесных почвах.

Кедровые леса, на который приходится немногим более 5% лесопокрытой площади, расположены преимущественно в местах с наиболее

высокими отметками и относятся к ряду XIV кедровников невысоких водорозделов. Меньшие площади занимают кедровники ряда I темнохвойной тайги на дерново-подзолистых и дерново-лесных почвах. Занимающие около 15% лесопокрытой площади березняки относятся к рядам восстановления сосняков, лиственничников и темнохвойной тайги. Пихта распространена в качестве сопутствующей породы в южной части округа, где встречаются также фрагменты пихтарников среди еловых и кедровых лесов [Попов, 1982]. Подробные исследования связи восстановительных рядов типов леса и фациальной структуры проводились на пробных площадках, расположенных на правом берегу Усть-Илимского водохранилища (р. Ангара) южнее пос. Железнодорожный [Vladimirov, 2014] (Рисунок 4.5). Исследования также включали изучение восстановительно-возрастной динамики на вырубках и гарях.



Рисунок 4.5. Схема расположения Усть-Илимского ключевого участка

Для анализа фациальной структуры территории и ее связи с

восстановительными рядами типов леса были использованы план лесонасаждений Северного лесничества Иркутской области (рисунок 4.6), космические снимки высокого пространственного разрешения (Landsat ETM+, ASTER/TERRA) и результаты их обработки (рисунок 4.7), фрагмент разработанной ландшафтной карты масштаба 1:25 000 (рисунок 4.8).



Рисунок 4.6. План лесонасаждений Северного лесничества Иркутской области, Жеронская и Карапчанская дачи.

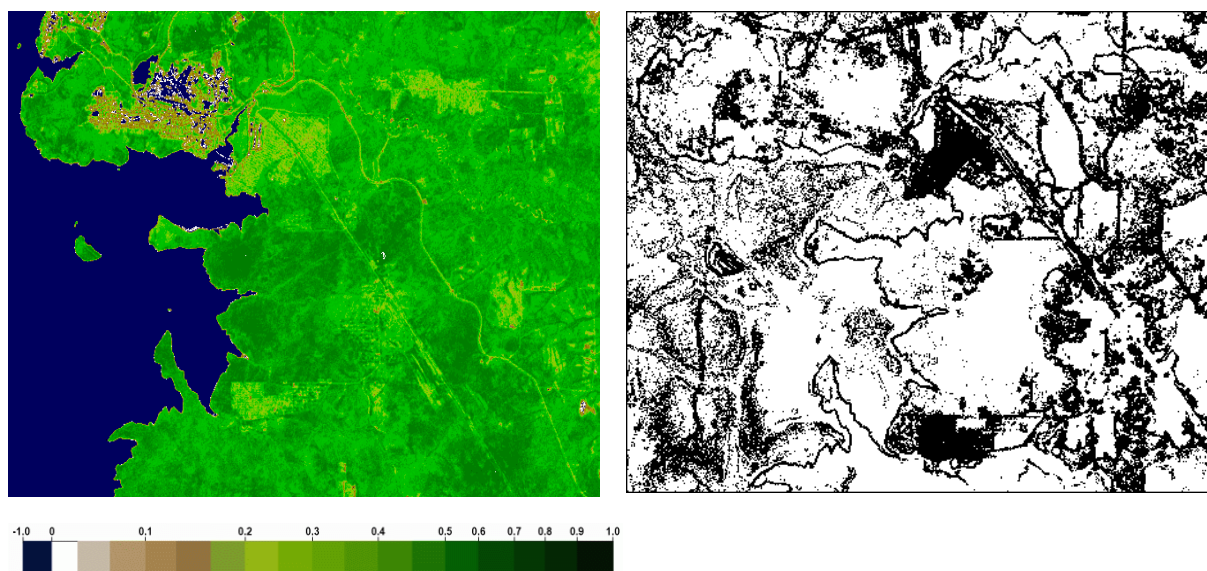


Рисунок 4.7. Результаты обработки космических снимков. а) NDVI (Landsat ETM+), б) Границы экосистем, выделенные с использованием определителя Якоби (ASTER/TERRA) [Vladimirov, 2014]

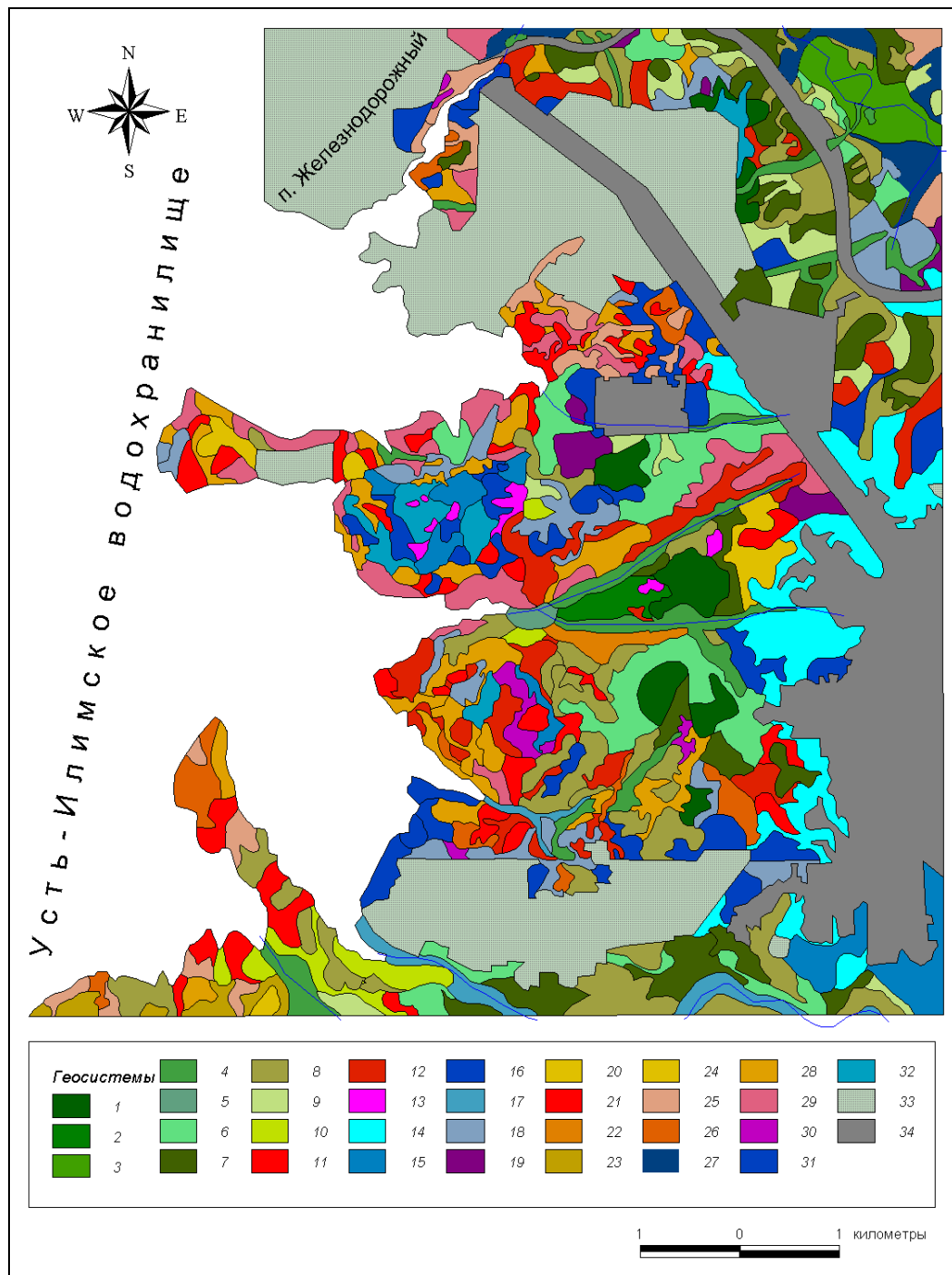


Рисунок 4.8. Геосистемы Усть-Илимского ключевого участка [Владимиров, 2004].

## СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ СПИСОК ГЕОСИСТЕМ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

### А. АРКТО-БОРЕАЛЬНЫЕ СЕВЕРОАЗИАТСКИЕ А<sub>1</sub>-СУББОРЕАЛЬНЫЕ РАВНИННО-ПЛОСКОГОРНЫЕ ТАЕЖНО-ЛЕСНЫЕ РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ УМЕРЕННО ВЛАЖНЫХ И РАЗНЫХ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ (СРЕДНЕСИБИРСКИЕ)

#### А<sub>1</sub>И. Равнинные южнотаежные

##### А<sub>1</sub>И.1. Темнохвойно-таежные денудационных плато-равнин

1. Плакорные возвышенных равнин пихтово-кедровые с подлеском из жимолости

и можжевельника травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах (К);

2. Куполообразных вершин водоразделов пихтово-елово-лиственничные с подлеском из жимолости травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах (МК);

3. Долинные и пойменные елово-пихтовые крупнотравные на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми (С);

4. Днищ распадков и узких речных долин пихтовые (с кедром и елью) крупнотравные на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми (С);

5. Днищ распадков и узких речных долин пихтово-еловые папоротниковые на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми (С);

6. Подножий склонов пихтово-кедровые с участием лиственницы со смешанным подлеском разнотравные с пятнами зеленых мхов на дерново-таежных почвах (МК);

7. Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей темнохвойные травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах (МК);

8. Склонов средней крутизны пихтово-елово-лиственничные травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах (МК);

9. Склонов средней крутизны темнохвойные с примесью лиственницы травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах (МК);

10. Крутых склонов темнохвойные с примесью лиственницы травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах (МК);

#### **Антропогенно-нарушенные**

11. Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей сосновые с примесью пихты разнотравные на дерновых лесных почвах (УД);

12. Склонов средней крутизны сосновые с участием темнохвойных пород разнотравные с подлеском из спиреи и рябины на дерново-таежных почвах (УД);

#### **Антропогенно-измененные**

13. Выположенных участков водоразделов осиновые восстановительные серии (с лиственницей и кедром в подросте) с рябиной и ольхой в подлеске осочково-разнотравные на дерново-таежных почвах;

14. Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с пихтой и кедром в подросте) кустарничковые разнотравные на дерновых лесных почвах;

15. Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с елью и пихтой в подросте) крупнотравные на дерновых лесных мощных суглинистых и легкосуглинистых почвах;

16. Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии с примесью темнохвойных пород кустарничковые разнотравные на дерновых лесных почвах;

17. Днищ распадков и узких речных долин березовые (с кедром и пихтой в подросте) разнотравные на дерново-лесных почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми;

18. Склонов средней крутизны березовые восстановительные серии (с пихтой и елью в подросте) кустарничковые разнотравные на дерновых лесных почвах;

19. Склонов средней крутизны осиновые восстановительные серии (с пихтой и кедром в подросте) с жимолостью в подлеске осочково-разнотравные на дерновых лесных почвах;

#### **А1.2. Светлохвойно-таежные денудационно-эрозионных плато-равнин**

20. Выположенных участков водоразделов сосновые бруснично-разнотравные с смешанным подлеском на дерново-таежных почвах (К);

21. Понижений водоразделов и пологих приводораздельных склонов

лиственничные с елью и пихтой травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов на дерново-таежных почвах (МК);

22. Пологих придолинных склонов светлохвойные с елью и кедром травяно-зеленомошные на тяжелосуглинистых дерново-лесных почвах (МК);

23. Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей лиственничные с примесью сосны травяно-моховые на дерново-таежных почвах (МК);

24. Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей лиственничные кустарничково-моховые на дерново-таежных почвах (МК);

25. Склонов средней крутизны сосновые осочково-разнотравные со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах (МК);

## **А<sub>2</sub>СУББОРЕАЛЬНЫЕ ГОРНЫЕ И ГОРНО-ДОЛИННЫЕ ТАЕЖНЫЕ ВЛАЖНЫХ И КОНТРАСТНЫХ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ВНУТРИМАТЕРИКОВЫХ СРЕДНЕГОРИЙ И ВЫСОКИХ ПЛАТО**

### **А<sub>2</sub>І. Горно-таежные светлохвойные южно-сибирского типа**

#### **А<sub>2</sub>І.1. Предгорных возвышенностей светлохвойные оптимального развития**

26. Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей сосновые бруснично-разнотравные с редким подлеском из шиповника и ольховника на легкосуглинистых дерновых серых лесных слабогумусных почвах (К);

27. Пойменные и террасовые березовые травяные с пятнами зеленых мхов на пойменно-слоистых маломощных почвах (С);

28. Склонов средней крутизны сосновые с лиственницей со смешанным подлеском разнотравные на дерновых серых лесных почвах (МК);

29. Склонов средней крутизны сосновые бруснично-разнотравные на дерново-таежных почвах (С);

#### **Антропогенно-измененные**

30. Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей осиновые восстановительные серии с примесью сосны с подлеском из ольхи и жимолости разнотравные на дерновых лесных почвах;

31. Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии с примесью светлохвойных разнотравные на дерновых лесных почвах;

32. Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с елью и лиственницей в подросте) разнотравно-злаковые на дерновых лесных мощных суглинистых и легкосуглинистых почвах;

### **Б. Геотехнические системы**

33. Селитебная;

34. Транспортно-техническая.

В границах каждой фации реализуется простейший вариант направленной или флуктуирующей динамики. От начала до конца этот процесс протекает однонаправлено (без учета катастрофических явлений – пожары, рубки и т.п.), и все элементы, участвующие в нем, полностью достигают своего конечного состояния, соответствующего данной фации. При этом каждая из стадий динамики характеризует время формирования

сообщества, в течение которого в его составе доминируют определенный лесообразователь или поколение древостоя, оказывающее эдификаторное и регуляционное воздействие на внутриценотическую среду и биогеоценотические процессы [Владимиров, 2004; Vladimirov, 2014].

По результатам исследований было установлено, что различным фациям и восстановительным сериям ключевого участка соответствует определенные восстановительные ряды типа леса (Таблица 4.1 и Рисунок 4.9).

Таблица 4.1

Сопоставление фаций и восстановительных рядов типа леса

Геосистема	Восстано- вительный ряд
Плакорные возвышенных равнин пихтово-кедровые с подлеском из жимолости и можжевельника травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах	II
Куполообразных вершин водоразделов пихтово-елово-лиственничные с подлеском из жимолости травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах	II
Долинные и пойменные елово-пихтовые крупнотравные на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми	IX
Дниц распадков и узких речных долин пихтовые (с кедром и елью) крупнотравные на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми	IX
Дниц распадков и узких речных долин пихтово-еловые папоротниковые на перегнойных и перегнойно-торфянистых почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми	IX
Подножий склонов пихтово-кедровые с участием лиственницы со смешанным подлеском разнотравные с пятнами зеленых мхов на дерново-таежных почвах	II
Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей темнохвойные травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах	II
Склонов средней крутизны пихтово-елово-лиственничные травяно-зеленомошные на дерново-таежных почвах	II
Склонов средней крутизны темнохвойные с примесью лиственницы травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах	III
Крутых склонов темнохвойные с примесью лиственницы травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах	III
Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей сосновые с примесью пихты разнотравные на дерновых лесных почвах	III
Склонов средней крутизны сосновые с участием темнохвойных пород разнотравные с подлеском из спиреи и рябины на дерново-таежных почвах	III
Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с елью и пихтой в подросте) крупнотравные на дерновых лесных мощных суглинистых и легкосуглинистых почвах	IX

Геосистема	Восстано- вительный ряд
Выположенных участков водоразделов осиновые восстановительные серии (с лиственницей и кедром в подросте) с рябиной и ольхой в подлеске осочково-разнотравные на дерново-таежных почвах	II
Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с пихтой и кедром в подросте) кустарниковые разнотравные на дерновых лесных почвах	IX
Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии с примесью темнохвойных пород кустарниковые разнотравные на дерновых лесных почвах	IX
Днищ распадков и узких речных долин березовые (с кедром и пихтой в подросте) разнотравные на дерново-лесных почвах в сочетании с аллювиальными дерновыми	IX
Склонов средней крутизны березовые восстановительные серии (с пихтой и елью в подросте) кустарниковые разнотравные на дерновых лесных почвах	IX
Склонов средней крутизны осиновые восстановительные серии (с пихтой и кедром в подросте) с жимолостью в подлеске осочково-разнотравные на дерновых лесных почвах	II
Выположенных участков водоразделов сосновые бруснично-разнотравные с смешанным подлеском на дерново-таежных почвах	VIII
Понижений водоразделов и пологих приводораздельных склонов лиственничные с елью и пихтой травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов на дерново-таежных почвах	X
Пологих придолинных склонов светлохвойные с елью и кедром травяно-зеленомошные на тяжелосуглинистых дерново-лесных почвах	VIII
Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей лиственничные с примесью сосны травяно-моховые на дерново-таежных почвах	VII
Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей лиственничные кустарничково-моховые на дерново-таежных почвах	X
Склонов средней крутизны сосновые осочково-разнотравные со смешанным подлеском на дерново-таежных почвах	VIII
Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей сосновые бруснично-разнотравные с редким подлеском из шиповника и ольховника на легкосуглинистых дерновых серых лесных слабогумусных почвах	VIII
Пойменные и террасовые березовые травяные с пятнами зеленых мхов на пойменно-слоистых маломощных почвах	IX
Склонов средней крутизны сосновые с лиственницей со смешанным подлеском разнотравные на дерновых серых лесных почвах	VIII
Склонов средней крутизны сосновые бруснично-разнотравные на дерново-таежных почвах	VIII
Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей осиновые восстановительные серии с примесью сосны с подлеском из ольхи и жимолости разнотравные на дерновых лесных почвах	III
Пологосклоновых слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии с примесью светлохвойных разнотравные на дерновых лесных почвах	X
Плоских слаборасчлененных поверхностей березовые восстановительные серии (с елью и лиственницей в подросте) разнотравно-злаковые на дерновых лесных мощных суглинистых и легкосуглинистых почвах	X



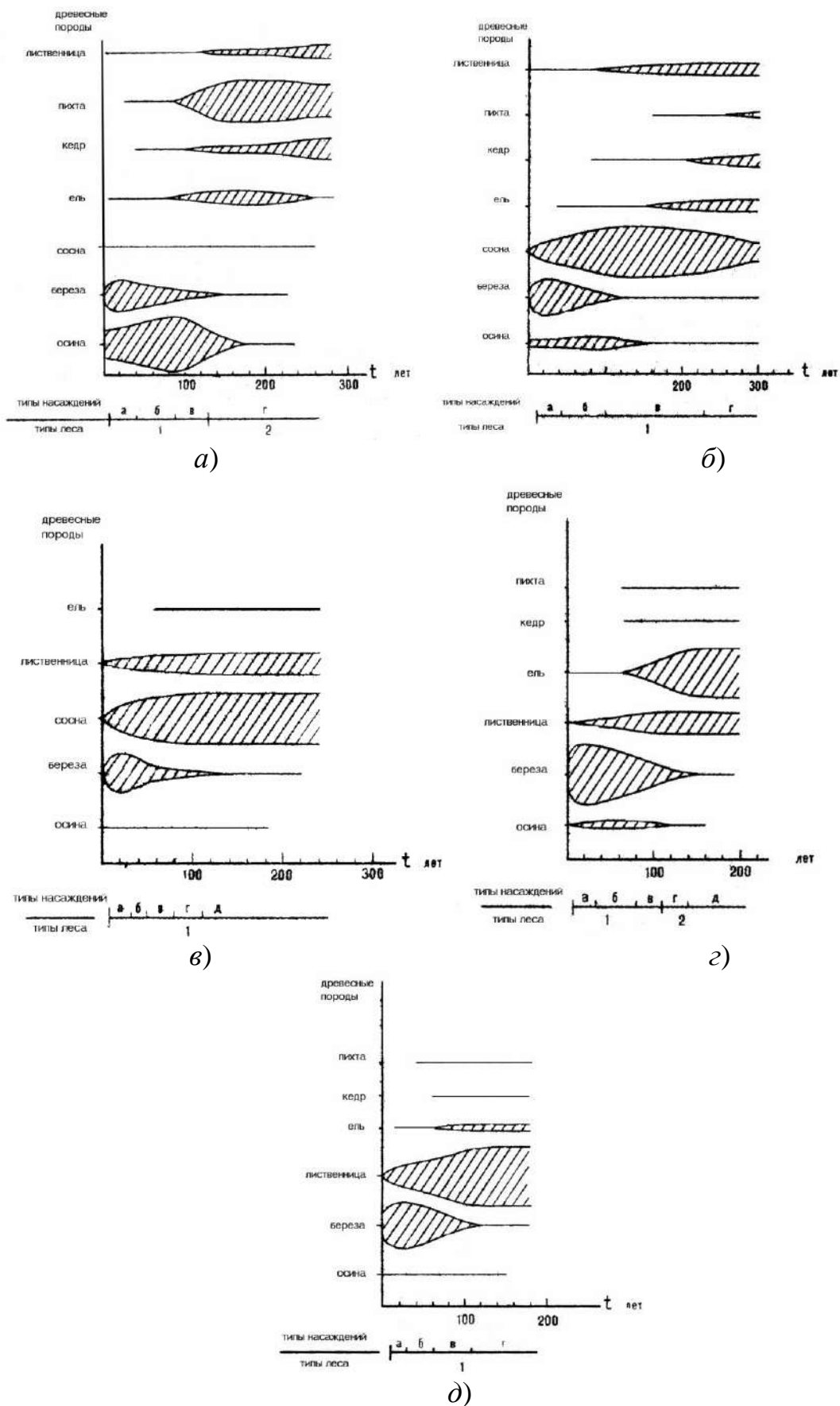


Рисунок 4.9. Схемы динамики породного состава древостоев восстановительных рядов: а) II, б) III, в) VIII, г) IX, д) X. (по данным Л.В. Попова [1982])

При прогнозировании исследуются все растительные сообщества как компоненты геосистем исследуемой территории, с выявлением всех структурно-ценотических, эколого-топологических, эволюционно-генетических, динамических и иных особенностей каждого из них. Они анализируются как единая пространственная целостность, с определенной географической структурой – подзональной, высотно-поясной, регионально-генетической и др., сложившейся в ходе эволюционного развития природной среды и самой растительности. Все растительные сообщества связаны между собой множеством пространственных связей и потому изучение структуры растительного покрова будущего объективно возможно только с учетом всех этих факторов [Белов, Соколова, 2015].

В прогностических исследованиях необходимо учитывать, что растительность сама является мощным средоформирующим и средозащитным компонентом геосистем на изучаемой территории, что в совокупности определяет ее стабилизирующую роль в динамике природной среды. Ее эдификаторные свойства, а также эколого-физиологические и морфологические особенности обеспечивают ей инерционный эффект в ходе постоянных циклических изменений природной среды, связанных с солнечной активностью.

Такие экологические особенности растительности в значительной степени определяют временные параметры прогнозов с позиции их прикладной значимости. В этом плане, очевидно, более интересны в научном и прикладном аспектах краткосрочные и средне-долгосрочные прогнозы развития растительности, сопоставимые с продолжительностью жизни видов растений, доминирующих в большинстве сообществ изучаемой территории. Это прогнозы порядка 100-200 лет. За это время могут завершиться все восстановительные процессы и древостой лесных сообществ достигает полной возрастной зрелости. Все это более объективно показывает возможные изменения в структуре растительности в будущем, как в определенных режимах хозяйственного природопользования, так и без антропогенного воздействия на нее. Такие прогнозы просто более практичны и совпадают с человеческими интересами. Прогнозы изменений растительности на большие сроки имеют сугубо научно-теоретический интерес и мало пригодны для

разработки рекомендаций по рациональному природопользованию и охране окружающей природной среды для конкретного региона [Белов, Соколова, 2015].

На основе приведенных выше данных (восстановительных рядов типа леса и их сопоставления с фациальной структурой) (см. таблица 4.1 и рисунок 4.9) [Владимиров, 2004], ландшафтной карты (рисунок 4.8), лесотаксационных материалов были созданы карта текущего состояния типов леса (рисунок 4.10) и прогнозно-динамические карты типов леса на период 50 и 100 лет (рисунок 4.11. и 4.12) [Vladimirov, 2014].

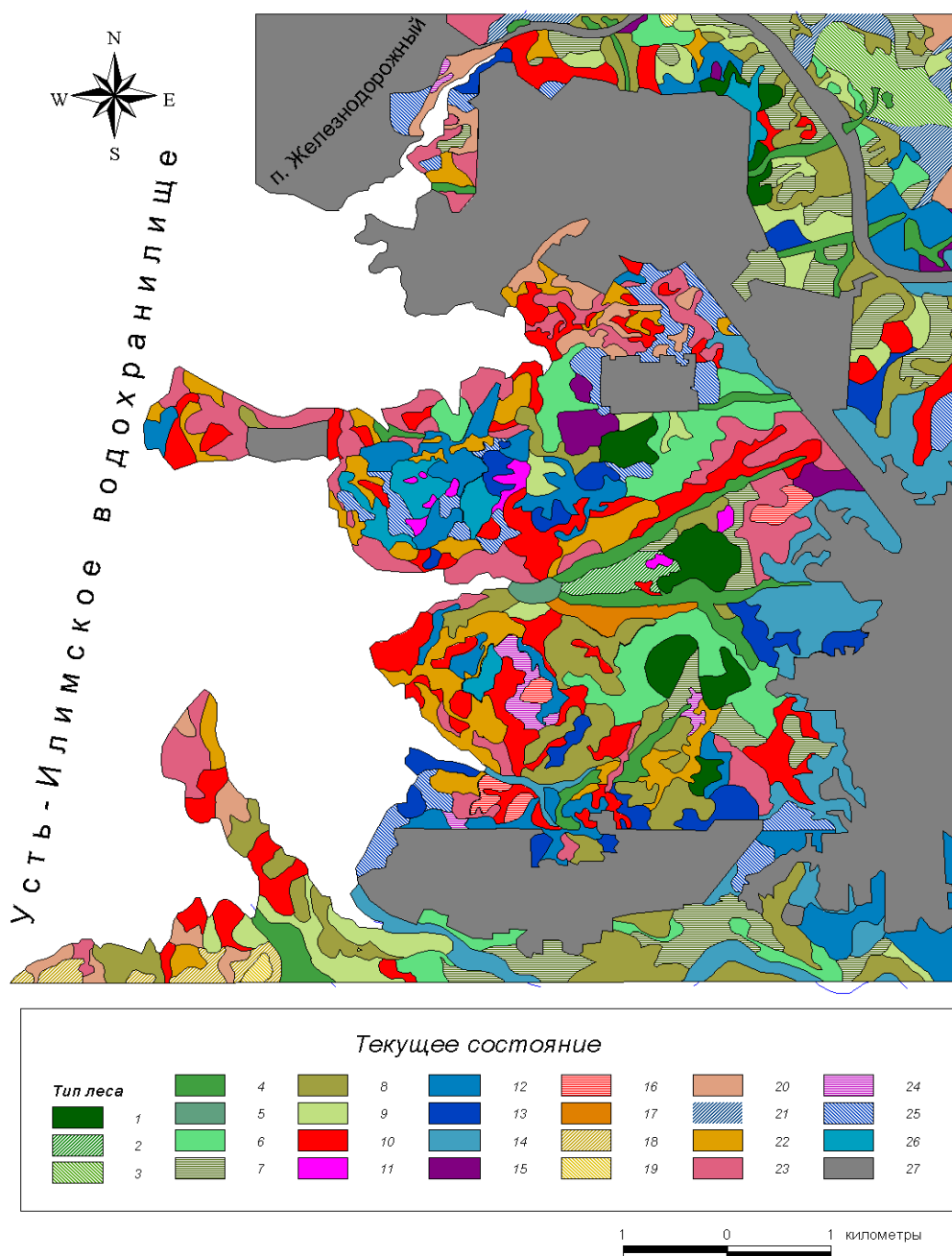


Рисунок 4.10. Карта текущего состояния типов леса Усть-Илимского ключевого участка

## Легенда к карте текущего состояния лесов ключевого участка

1. Кедрово-пихтовые с подлеском из жимолости и можжевельника травяно-зеленомошные.
2. Пихтово-елово-лиственничные с подлеском из жимолости травяно-зеленомошные.
3. Елово-пихтовые крупнотравные.
4. Пихтовые (с кедром и елью) крупнотравные.
5. Пихтово-еловые папоротниковые.
6. Кедрово-пихтовые с участием лиственницы со смешанным подлеском разнотравные с пятнами зеленых мхов.
7. Темнохвойные травяно-зеленомошные.
8. Пихтово-елово-лиственничные травяно-зеленомошные.
9. Темнохвойные с примесью лиственницы травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов.
10. Сосняки с участием темнохвойных пород разнотравные.
11. Осинники (с лиственницей и кедром в подросте) с рябиной и ольхой в подлеске осочково-разнотравные.
12. Березняки с примесью темнохвойных пород кустарничковые разнотравные.
13. Березняки (с кедром и пихтой в подросте) разнотравные.
14. Березняки (с пихтой и елью в подросте) кустарничковые разнотравные.
15. Осинники (с пихтой и кедром в подросте) с жимолостью в подлеске осочково-разнотравные.
16. Лиственничники с елью и пихтой травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов.
17. Светлохвойные с елью и кедром травяно-зеленомошные.
18. Лиственничники с примесью сосны травяно-моховые.
19. Лиственничники кустарничково-моховые.
20. Сосняки осочково-разнотравные со смешанным подлеском.
21. Березняки травяные с пятнами зеленых мхов.
22. Сосняки с лиственницей со смешанным подлеском разнотравные.
23. Сосняки бруснично-разнотравные.
24. Осиновые с примесью сосны с подлеском из ольхи и жимолости разнотравные.
25. Березняки с примесью светлохвойных разнотравные.
26. Березняки восстановительные серии (с елью и лиственницей в подросте) разнотравно-злаковые.
27. Антропогенные структуры.

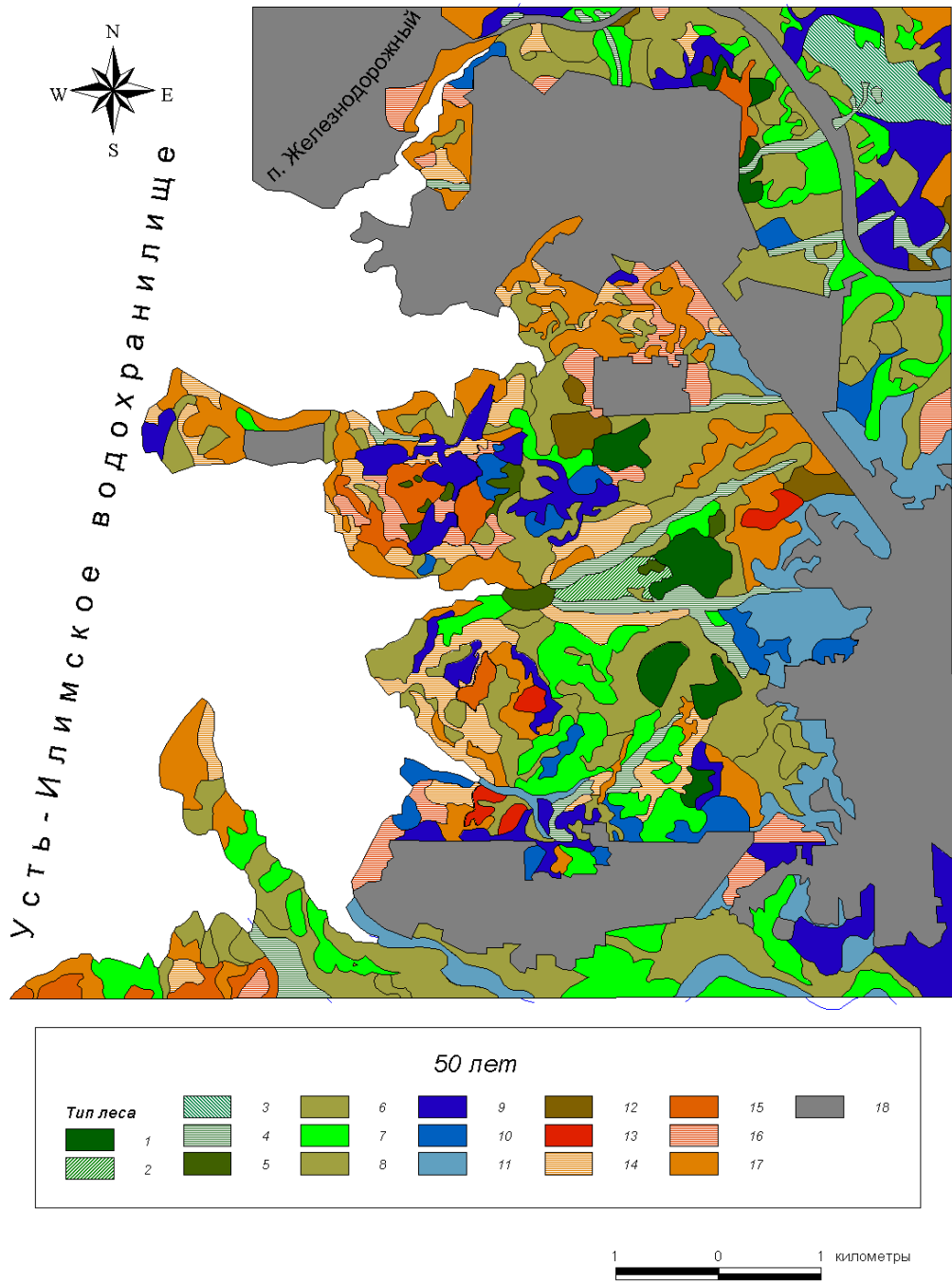


Рисунок 4.11. Прогнозно-динамическая карта состояния лесов на Усть-Илимском ключевом участке через 50 лет

Легенда прогнозно-динамической карты лесов ключевого участка  
(состояние через 50 лет)

1. Пихтово-кедровые с участием лиственницы травяно-зеленомошные.
2. Пихтово-лиственничные с участием ели травяно-зеленомошные.
3. Пихтово-еловые крупнотравные.
4. Елово-пихтовые с примесью кедра крупнотравные.
5. Лиственнично-кедровые с участием пихты разнотравные с пятнами зеленых мхов.
6. Кедрово-пихтовые с участием лиственницы разнотравно-зеленомошные.
7. Елово-лиственничные травяно-зеленомошные.
8. Елово-кедрово-сосновые разнотравные.
9. Березняки с примесью ели и лиственницы зеленомошно-крупнотравные.
10. Березняки с примесью пихты зеленомошно-крупнотравные.
11. Березняки с примесью ели и пихты зеленомошно-крупнотравные.
12. Кедрово-пихтовые с участием лиственницы разнотравные.
13. Лиственничники с примесью ели и пихты травяно-кустарничковые с пятнами зеленых мхов.
14. Сосняки с участием лиственницы бруснично-разнотравные.
15. Лиственничники с примесью темнохвойных пород зеленомошные.
16. Лиственничники зеленомошные.
17. Сосняки бруснично-разнотравные.
18. Антропогенные структуры.

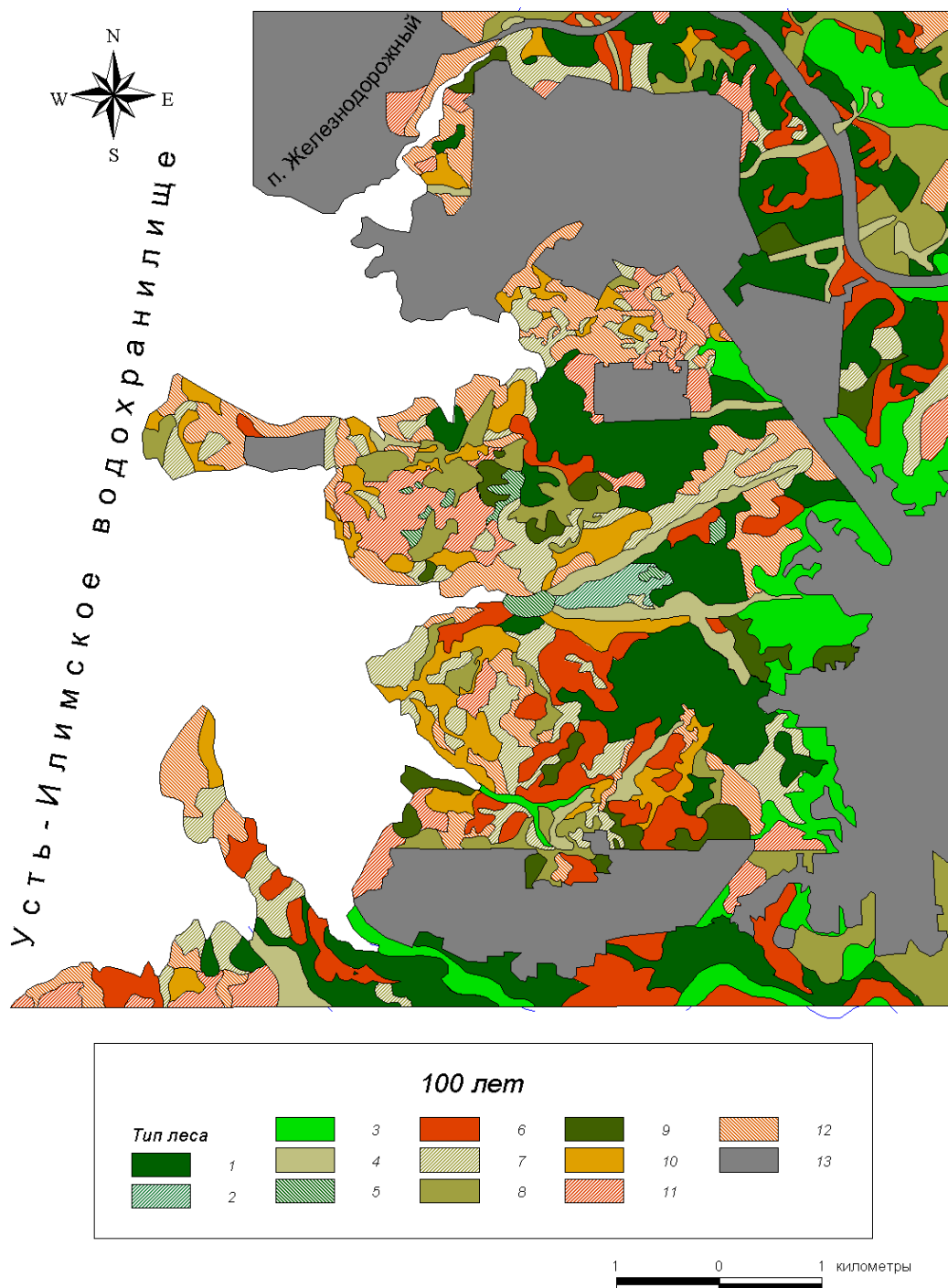


Рисунок 4.12. Прогнозно-динамическая карта состояния лесов на Усть-Илимском ключевом участке через 100 лет

Легенда прогнозно-динамической карты лесов ключевого участка  
(состояние через 100 лет)

1. Лиственнично-пихтово-кедровые травяно-зеленомошные.
2. Пихтово-лиственничные травяно-зеленомошные.
3. Пихтово-еловые с участием лиственницы крупнотравные зеленомошные.
4. Ельники с примесью кедра и лиственницы крупнотравные с пятнами зеленых мхов.
5. Лиственнично-кедровые разнотравно-зеленомошные.
6. Лиственничники с участием ели травяно-зеленомошные.
7. Елово-кедрово-сосновые с примесью лиственницы разнотравные.
8. Ельники с примесью березы и лиственницы зеленомошно-крупнотравные.
9. Кедрово-пихтовые с примесью лиственницы зеленомошно-крупнотравные.
10. Сосняки с участием лиственницы брусничные.
11. Лиственничники с примесью темнохвойных пород зеленомошные.
12. Сосняки брусничные.
13. Антропогенные структуры.

Теоретической основой создания прогнозно-динамических карт типов леса становится ландшафтно-интерпретационное картографирование, когда ландшафтно-типологическая карта используется как контурная и классификационная основа для разработки производных картографических произведений [Ландшафтно-интерпретационное..., 2005]. Данный подход в максимальной степени реализуется в рамках структурно-динамического ландшафтоведения и генетического лесоведения, так как только здесь появляется возможность добиться отождествления пространственного выдела (геомера, биогеоценоза), характерному ему природного режима, интенсивности и последовательности динамики, временного и пространственного разнообразия, хозяйственного использования и т.д. [Кузьменко, Смолоногов, 2000]

Алгоритм создания прогнозно-динамических карт типов леса состоит в следующем: 1) Натурные исследования фациальной структуры и восстановительных рядов типов леса изучаемой территории; 2) Создание ландшафтно-типологической карты в среде ГИС; 3) Создание схем динамики породного состава древостоев восстановительных рядов типов леса; 4)



Привязка лесотаксационных материалов к ландшафтно-типологической карте;

5) Сопоставление фациальной структуры и восстановительных рядов типа леса, на основе данных полученных в ходе анализа информации лесотаксационных материалов и натурных наблюдений; 6) Построение прогноза развития леса на основе ландшафтно-типологической карты и схем динамики породного состава древостоев, занесение его в базу данных; 7) Визуализация базы данных прогноза в среде ГИС.

Предложенная схема прогнозирования восстановительной динамики в целом согласуется специалистов в области лесоводства и географии о ходе возрастного развития таежного леса [Колесников, 1956, 1972; 1964; Крауклис, 1979; Попов, 1982; и др.]. С ландшафтной точки зрения заслуживает особого внимания тот факт, что в ходе этого сложного процесса меняются состав и жизнедеятельность биотического сообщества, а также его отношения со средой обитания. В этой связи А.А. Крауклис [1979] выделяет три типа переменных состояний фаций: активизация (отсутствие древостоев или господство в них мелколиственных пород), нормализация (спелый древостой), стагнация (распадающиеся крупнолесья и мелколесья).

Под активизацией понимается усиление интенсивности ежегодного биогеохимического оборота, возрастание тепло- и влагооборота в системе воздух - почва, увеличение активности флювиальных и денудационно-аккумулятивных процессов. Стагнация - уменьшение прироста живой биомассы древостоя, накопление медленно гумифицирующейся отмершей органики, резкое снижение тепло-, влаго- и воздухообмена между почвой и атмосферой, сокращение интенсивности процессов стока и денудации. Нормализация, как указывает само название, - приближение к умеренной интенсивности большинства процессов.

Конкретные проявления приведенных переменных состояний зависят от факторов местообитания, влияющих как на продуктивность леса, так и на продолжительность отдельных стадий развития всего возрастного цикла в целом.

Имеющиеся данные пока не позволяют сделать окончательных выводов

относительно ритмики смены состояний активизации, нормализации и стагнации в различных местообитаниях. Однако возможно сделать следующее заключение - разнообразие возрастных состояний леса на таежной местности во многом предопределено ее контрастностью, по мере возрастания контрастности местообитаний увеличивается вероятность того, что в один и тот же момент времени таежные геосистемы будут представлены на местности всеми стадиями цикла возрастных смен.

Данное сопоставление ландшафтной структуры и восстановительных рядов типов леса, безусловно, не отражает всех возможных вариантов восстановительно-возрастной динамики таежных лесов. Особенность последней по каждой фации обусловлена экологическими условиями среды и биологическими свойствами главной и сопутствующих пород, слагающих сообщества и находящихся в сложном межвидовом взаимоотношении на протяжении всего цикла восстановительных смен. Направленность динамики часто определяется также интенсивностью и повторяемостью пожаров, обуславливающих продолжительность стадий, состав пород и облик живого напочвенного покрова. В то же время установлено, что в процессе формирования в границах каждой фации растительность проходит через перечисленные выше морфологически близкие стадии восстановления коренного сообщества.

#### **4.3. Прогнозирование антропогенной динамики лесной растительности геосистем Байкальской Сибири**

Происходящая смена подходов к природопользованию и управлению природными ресурсами требует определенного пересмотра принципов организации информационного обеспечения при принятии решений. Формирование политики использования лесных ресурсов, позволяющей сохранять разнообразие животного и растительного мира при обеспечении необходимого объема лесозаготовок, является одной из важнейших задач управления регионом, особенно таким многолесным как Иркутская область [Владимиров, Попова, 2009]. Принимаемое решение зависит от объема и

качества информации, предоставляемой лицу, его принимающему (ЛПР). Одним из видов такой информации, как результат реализации того или иного гипотетического решения выступают результаты компьютерного прогнозирования динамики лесных ресурсов [Vladimirov, Chudnenko, 2009].

Институтом географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и Институтом динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН совместно создана и апробирована интеллектуальная геоинформационная система поддержки принятия решений по рациональному использованию лесных ресурсов [Владимиров, Попова, 2009; Vladimirov, Chudnenko, 2009; Popova, Cherkashin, Vladimirov, 2018; 2019], основанная на комплексном подходе, который включает этапы идентификации математических моделей лесных ресурсов, расчет прогноза динамики, а также анализ критериев компьютерного моделирования.

**Интеллектуальная геоинформационная система.** Интеллектуальная геоинформационная система предназначена для прогнозирования состояния лесных ресурсов с использованием геоинформационных технологий на основе приложения системы математических моделей к конкретному природному объекту и некоторой политики использования лесных ресурсов, заданной набором параметров модели. Прогнозы состояния лесных ресурсов рассчитываются по соответствующим моделям в зависимости от масштаба природного объекта и задачи, решаемой ЛПР. Каждый прогноз - это расчет модельного сценария, задаваемого комбинацией параметров модели. Сценарии, предоставляемые для дальнейшего анализа, определяются по совокупности предварительно заданных критериев из всего набора прогнозов [Владимиров, Попова, 2009].

Интеллектуальная ГИС - это система поддержки принятия решений (СППР), представляющая собой совокупность трех базовых подсистем: самой ГИС, подсистемы математического моделирования и системы автоматизации логических рассуждений (системы искусственного интеллекта) [Владимиров, Чудненко, 2005]. Компоненты СППР формируют инструментальное средство, при помощи которого возможна разработка как производных СППР, так и

отдельных программных комплексов из отдельных компонентов системы. СППР функционирует на основе ГИС, и кроме стандартных средств хранения, отображения и обработки пространственно-распределенных данных она позволяет отображать информацию, полученную в результате математического моделирования динамики лесных ресурсов, в виде таблиц, диаграмм, картографических произведений, а также представляет динамику ресурса в виде анимации [Popova, Cherkashin, Vladimirov, 2018].

Общий сценарий использования разрабатываемой СППР выглядит следующим образом. Информация об исследовательской задаче вводится в систему в процессе диалога. Полученное в ходе него формальное представление задачи, например, в виде семантической сети, служит исходными данными для генерирования логических заключений о задаче прогнозирования, ранге исследуемого объекта и использовании той или иной модели для прогноза. Для идентификации модели и вычисления начальных условий эти данные загружаются из базы данных состояния лесного фонда. Запросы к базе генерируются подпрограммами, запускаемыми механизмом логического вывода в процессе построения формализованного представления модели конкретного исследуемого объекта [Vladimirov, Chudnenko, 2009].

На основе дальнейшего анализа задачи и выбранной модели устанавливаются множество параметров и начальные условия, а также диапазоны их изменения, что формирует основу для генерирования сценариев развития объекта. Комбинации значений параметров отображают управляющее воздействие на объект (гипотетическое решение ЛПР). В последнюю очередь определяются критерии анализа получаемых результатов прогноза. Они сводят расчеты к набору числовых характеристик, которые идентифицируют сценарий и задают его положение в пространстве критериев. Заключительный этап анализа модельных расчетов - многокритериальная оптимизация, преследующая цель свернуть множество альтернативных сценариев до трех-четырех, которые и передаются в качестве допустимых ЛПР [Popova, Cherkashin, Vladimirov, 2018].

В СППР входит база знаний, где для каждой математической модели имеется определенный раздел, используемый подсистемой искусственного интеллекта для построения базовой структуры этой модели по известным данным об объекте, идентификации модели на основе информации об исследуемом объекте, а также поиска начальных условий модели. С каждым модулем численного моделирования в базе знаний сопоставлена дескриптивная структура (например, сеть понятий или правило), описывающая его назначение, свойства и т. п. [Popova, Cherkashin, Vladimirov, 2019]

Система математических моделей и электронные карты различных уровней территориального охвата в среде ГИС выступают главными элементами многоуровневого прогнозного картографирования динамики лесных ресурсов [Vladimirov, Chudnenko, 2009]. Элементами управления, или минимальными графическими объектами, по которым возможно получение содержательной информации, являются: для регионального уровня - лесничество и административный район; для субрегионального - квартал; для локального - лесотаксационный выдел.

Программной системой для прогнозного картографирования динамики лесных ресурсов является интеллектуальная геоинформационная система, где тесно взаимодействуют следующие три подсистемы: ГИС, подсистема математического моделирования ДУД (динамика управления древостоем) и система автоматизации логических рассуждений (система искусственного интеллекта) [Владимиров, Попова, 2009]. Информация, используемая для идентификации модели ДУД и вычисления начальных условий, представляет собой базу данных с различными лесоустроительными характеристиками. Результаты моделирования отображаются в виде картографических произведений ГИС, а также анимационных изображений.

Модель ДУД применяется для прогнозирования динамики лесных ресурсов на различных уровнях в ГИС – область, административные районы, лесничество и кварталы. В качестве исходной информации, хранимой в виде баз данных, используются данные учета лесного фонда, содержащиеся в

материалах лесоустройства, в которых отражается пространственное разнообразие леса. Основным источником информации о направлениях смены пород и возрастных циклах древостоев на всей территории лесничества являются научные публикации, отражающие закономерности динамики леса в различных регионах. Эти материалы корректируются в ходе специальных экспедиционных работ, а также по данным таксационных описаний. Они составляют информационную основу моделирования ДУД.

ГИС ДУД разрабатывается на основе программной технологии Java, выбор которой обусловлен, в основном, реализованной в рамках этой технологии открытой библиотекой (распространяется вместе с исходным кодом) OpenMap для создания ГИС. Обзор, проведенный в рамках сети Internet, показал, что открытых аналогов по уровню зрелости, вероятно, не существует. В основе OpenMap лежит технология JavaBeans, обеспечивающая интеграцию как в приложения, так и в Апплеты (Applets) Java. Библиотека отображает картографические данные и осуществляет обработку запросов пользователей на модификацию этих данных (масштабирование, перемещение, добавление слоев, сохранение и т.д.). Библиотека позволяет использовать данные форматов ESRI (шейп-файлы), данные из текстовых файлов CSV (comma-separated values) и некоторых других. Кроме OpenMap, в разрабатываемой системе используются Java-библиотеки, представляющие в наглядном виде графы, диаграммы и результаты расчетов [Владимиров, Попова, 2009; Плюснин и др., 2013].

Модель динамики управления древостоем реализована в виде программного модуля, связанного с ГИС-приложением на основе библиотеки OpenMap. Модуль реализует численное решение дифференциальных уравнений при помощи метода Рунге-Кутты [Vladimirov, Chudnenko, 2009]. Данные модуль получает из базы данных, где содержится информация о состоянии лесного фонда, рубках, пожарах и т.д.

После импорта данных интерфейсным модулем программы производятся расчеты по модели, при этом предварительно выбирается один из вариантов стратегии управления лесными ресурсами (естественная или

антропогенная динамика). В последнем случае, как известно, человек воздействует на систему в целом, изменяя ее динамику, или на отдельные элементы, влияя на их функционирование. Следовательно, в режиме моделирования с использованием антропогенной динамики можно воздействовать на ход развития древостоев также двумя способами, изменяя начальное состояние леса (рубки ухода, рубки главного пользования и др.) или граничные условия (обилие всходов, темпы зарастания не покрытых лесом площадей и др.) (рисунок 4.13). Смена характера развития моделируемой природной системы отражается величиной коэффициентов модели, связанных со скоростью процессов возобновления и роста деревьев [Popova, Cherkahsin, Vladimirov, 2018].

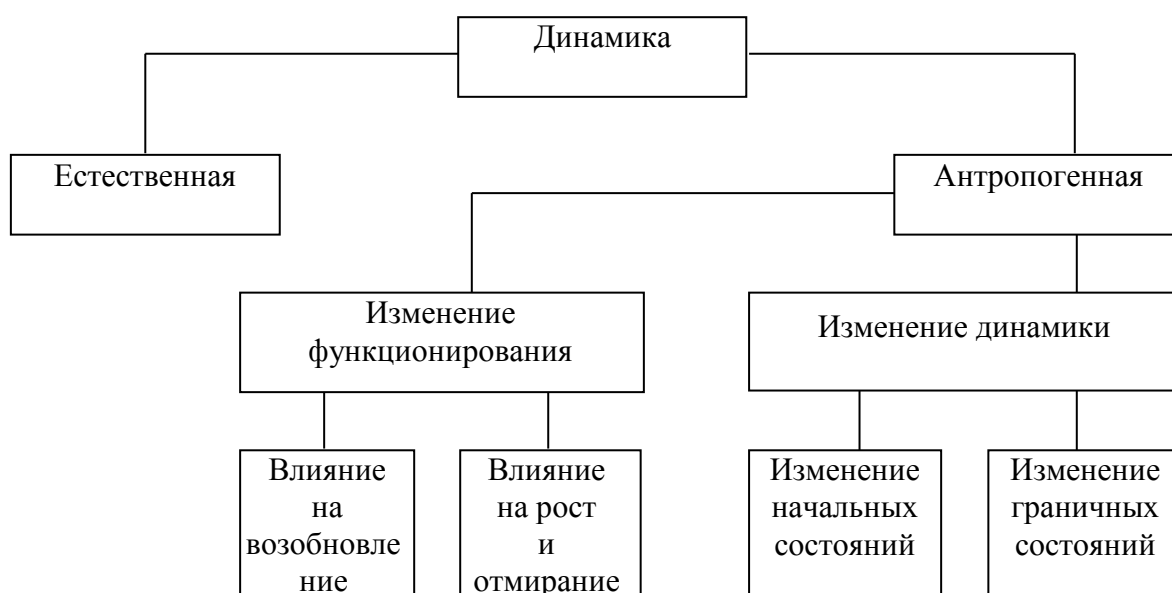


Рисунок 4.13. Схема управляющих воздействий на лес [Черкашин, 1984].

**Модели динамики лесных ресурсов.** В науках, связанных с изучением леса, разработаны достаточно развитые системы математического моделирования динамики лесов на различных уровнях их организации: локальном - модели отдельного дерева и древостоев [Connor et al., 1971; Horn, 1975, 1991; Черкашин, 1981; Urban et al, 1993; Fischlin, 1995; Bugmann, 1996; Беньков, Рыжкова, 2001; Владимиров, 2004; Vladimirov, 2007], субрегиональном - описание изменения распределения лесных площадей по породам и классам возраста, стадиям восстановительной динамики [Shugart et al., 1973; Shugart, 1984; Черкашин, 1979, 1981, 1984], региональном -

уравнения перераспределение запасов биомассы по породам [Черкашин, 1986; Mladenoff et al., 1996; Mladenoff, He, 1999] и глобальном - отражение роли и места лесных экосистем в кругообороте вещества и энергии [Моисеев, 1979]. В связи с постоянным увеличением производительности компьютерной техники разрабатывались и новые иерархические структурные модели лесных экосистем [Luan et al., 1996; Wu, David, 2002; Mäkelä, 2003; Bragg et al., 2004; и др.].

Разнообразен и математический аппарат моделирования. В последние годы при решении практических задач более широко стало использоваться моделирование динамики геосистем и экосистем на основе дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений. Такой подход применяется при моделировании различных биологических и географических систем, к примеру, лесных массивов.

Модели развития экосистем обычно разделяются на два больших класса: 1) непрерывные (на основе обыкновенных дифференциальных уравнений для сосредоточенных моделей и дифференциальных уравнений в частных производных для пространственно-распределенных систем); 2) дискретные (на основе систем алгебраических уравнений, которые в большинстве случаев можно получить путем дискретизации дифференциальных уравнений; в пространственно-распределенном случае это характерные модели, называемые клеточными автоматами) [Кириянов и др., 2005].

Каждая из моделей, как бы совершенна она ни была, к сожалению, может применяться лишь для решения узкого класса задач прогнозирования и планирования. Практические проблемы управления лесными ресурсами требуют разработки целостной многоуровневой системы моделей. Иерархия моделей динамики лесных насаждений должна включать, как минимум, три уровня: 1) расчет динамики пространственного распределения разновозрастных и разнопородных древостоев выдела с учетом лесохозяйственной деятельности; 2) расчет динамики лесного фонда лесничества с поквартальной агрегацией данных; 3) региональную модель с уровнем агрегации данных по лесничествам.



Одним из главных требований к таким моделям является использование в качестве исходной информации данных учета лесного фонда (получаемые в лесном хозяйстве), удобные для анализа динамики лесных ресурсов своей частой повторяемостью и достаточной детальностью, необходимой для решения теоретических и практических задач прогнозирования с учетом последствий различного вида хозяйственной деятельности и катастрофических смен [Владимиров, 2004]. Также модели должны быть легко настраиваемыми на конкретные физико-географические условия и иметь дружественный интерфейс.

При моделировании развития лесонасаждений необходимо учитывать, что отдельные участки леса - это открытые системы, динамика которых определяется как состоянием физико-географических условий среды, так и влиянием соседних массивов леса. Поэтому для математического описания подобных процессов и связей необходима модель с распределенными параметрами, в которой главные характеристики леса являются функциями пространственных координат и зависят от влияния окружающих элементов исследуемой системы [Владимиров, 2004].

**Однозначность моделей динамики лесных ресурсов.** В моделировании динамики компонентов геосистем, в частности биоты, имеется ряд особенностей, связанных со спецификой ее развития - большим разнообразием видовой и возрастной структуры, а также длительностью протекания процессов в древостоях, измеряемой несколькими десятками и сотнями лет. Это осложняет оценку коэффициентов модели: традиционные методы идентификации по экспериментальным данным оказываются не приемлемыми. Требуется разработка простых, но вместе с тем адекватных действительности методик моделирования, допускающих несложную опытную проверку базисных положений.

При использовании математических методов для прогнозирования природных явлений зачастую остается нерешенным вопрос о соответствии основополагающих уравнений моделей свойствам реальных географических

систем. Наиболее четко эта проблема прослеживается при анализе динамических систем живой природы.

Математической моделью географического процесса является его описание в математических терминах, адекватное исходным представлениям и данным. Простейшая модель – перечень свойств среды и ее динамических параметров, взаимосвязь которых описывает изучаемый процесс в данном приближении к действительности.

Чем более абстрагирована исходная система уравнений от конкретных ситуаций, тем обширнее описываемый ею класс явлений. Именно поэтому дифференциальные уравнения, описывающие динамические процессы, когда рассматривают не состояние системы в целом, а детальные балансы вещества и энергии, переход объектов из состояния в состояние, являются основными математическими моделями в географии. К ним должны быть присоединены параметры, выделяющие из множества возможных конкретную ситуацию и называемые условиями однозначности. Свойства географической среды, отраженные в этих уравнениях, и условия однозначности задаются в виде констант или известных функций параметров состояния и влияющих факторов [Гомология..., 2009].

При исследовании и моделировании географических объектов для задания условий однозначности и выделения независимых переменных необходимо точно определить: 1) геометрические и топологические свойства системы, в которой протекает процесс (характеристика рельефа, фациальная структура и т.д.); 2) существенные для этого процесса характеристики объектов, образующих систему, и их зависимость от параметров состояния и динамических воздействий (например, площади лесонасаждений, коэффициенты интенсивности перехода из состояния в состояние и т.д.); 3) начальное или конечное состояние системы; 4) условия на границах системы в течение процесса [Кутателадзе, 1986]. К этому необходимо добавить характеристики среды протекания процессов, отражающих природные режимы исследуемого пространства [Владимиров, 2003].

Соответствующие этому перечню размерные величины и их значения определяют условия однозначности географического процесса, выделяют единичное явление данного класса как географическую ситуацию. Величины, входящие в условия однозначности, задаются внешним образом по отношению к основным уравнениям, и поэтому являются независимыми переменными, множество которых однозначно определяет протекание конкретного процесса. Все остальные переменные, входящие в основные уравнения, являются зависимыми переменными [Владимиров, 2003].

На примере модели динамики лесных ресурсов, отражающей изменение распределения площадей лесонасаждений по породам и классам возраста, проиллюстрируем задание условий однозначности, в результате чего появляется модель конкретно определяющая процесс в некоторой географической ситуации.

Изменение структуры лесонасаждений с учетом смены пород представляется системой дифференциальных уравнений вида

$$dS_{ij}/dt = p_{ij-1}\alpha_i S_{ij-1} - p_{ij}\alpha_i S_{ij} - \gamma_{ij} S_{ij} + I_{ij}(t), \quad (4.1)$$

где  $S_{ij}(t)$  - площадь, занятая лесами с преобладанием  $i$ -й породы  $j$ -го класса возраста в момент времени  $t$  (га);  $\alpha_{ij} = p_{ij}\alpha_i$  - интенсивность перехода площади лесов  $i$ -й породы  $j$ -го класса возраста в площадь лесов той же породы  $(i + 1)$ -го класса возраста (1/год);  $\gamma_{ij} = p_{0ij}\alpha_i$  - коэффициент интенсивности смены  $i$ -й породы  $j$ -го класса возраста на леса других пород и возрастов (1/год);  $p_{ij}$  - доля площади, на которой в процессе восстановительно-возрастной динамики сохраняется лес данной породы,  $p_{0ij}$  - где он замещается на лесонасаждения с преобладанием других пород ( $p_{ij} = 1 - p_{0ij}$ );  $I_{ij}$  - суммарная скорость перехода лесонасаждений различного породного состава и возрастов в лесонасаждения  $i$ -й породы  $j$ -го возраста. Величина  $\alpha_i$  находится по формуле

$$\alpha_i = 1/\Delta\tau_i \quad (4.2),$$

где  $\Delta\tau_i$  соответствует шагу деления возраста на классы (для кедра - 40 лет, для остальных хвойных пород - 20, для лиственных - 10 лет). Поскольку интенсивность и направление процессов смены пород зависят от

пространственного варьирования физико-географических характеристик среды, значения переменных  $\gamma_{ij}$  определяется структурой ландшафта.

Подставим (4.2) в уравнение (4.1) и введем обозначение  $\Delta S_{ij} = S_{ij} - S_{ij-1}$ , тогда  $dS_{ij}/dt = -\Delta S_{ij}/\Delta\tau_i$ . При бесконечно малом шаге деления возраста на классы  $\Delta\tau_i = \Delta\tau \rightarrow 0$  система уравнений (4.1) приводится к дифференциальному уравнению в частных производных

$$\partial S_i(t, \tau)/\partial t + \partial [p_i(t, \tau)S_i(t, \tau)]/\partial \tau = -\gamma_i(\tau)S_i(t, \tau) + I_i(t, \tau), \quad (4.3)$$

где  $S_i(t, \tau)$  - площадь, покрытая лесонасаждениями с преобладанием  $i$ -й породы возраста  $\tau$  в момент  $t$ ;  $\gamma_i(\tau)$  - интенсивность перехода лесонасаждений с преобладанием  $i$ -й породы возраста  $\tau$  в лесонасаждения других пород;  $p_i(t, \tau)$  - вероятность того, что в лесонасаждениях с преобладанием  $i$ -й породы возраста  $\tau$  в момент  $t$  не произойдет смены пород;  $I_i(t, \tau)$  - суммарная скорость перехода лесонасаждений различного породного состава и возрастов в лесонасаждения  $i$ -й породы возраста  $\tau$  в момент  $t$ .

Зависимыми переменными в модели являются площадь лесонасаждений ( $S_i$ ) и темпы замещения лесов разных пород лесонасаждениями данного породного состава и возраста ( $I_i$ ). Независимые переменные – это прежде всего константы  $p_i$  и  $\gamma_i$ , а также начальные  $S_i(0, \tau) = S_{hi}(\tau)$  и граничные условия  $S_i(\tau, 0) = \alpha_i^0 S_{oi}(\tau)$  решения (4.3). Вероятности  $p_j$  и  $p_{0i}$  задаются внешним образом по отношению к основным переменным уравнений модели и однозначно определяют динамику лесонасаждений в конкретных физико-географических условиях, от которых зависит интенсивность и направленность смены пород в различных местоположениях.

Выявление подобных географических связей – важная часть демонстрации условий обеспечения однозначности реализации прогнозно-аналитических моделей.

В качестве примера в рамках площадной модели восстановительно-возрастной динамики лесов (4.3) рассмотрим стационарный процесс ( $\partial S_i/\partial t = 0$ ) разрушения спелых и перестойных лесонасаждений, когда

увеличение площадей за счет смены лесов с преобладанием других пород и возрастов отсутствует ( $I_i=0$ ):

$$\partial(p_i(\tau)S_i(\tau))/\partial\tau = -\gamma_i(\tau)S_i(\tau),$$

где  $\gamma_i(\tau) = (1 - p_i)/\Delta\tau_i$ . Предположив, что  $p_i$  не зависит от возраста, и, сделав замену  $n_i = \tau/\Delta\tau_i$ , т.е. перейдя от возраста  $\tau$  к классам возраста  $n_i$ , получим  $\frac{\partial S_i(n_i)}{\partial n_i} = -k_i S_i(n_i), k_i = \frac{1 - p_i}{p_i}$ . Решение этого дифференциального уравнения находится при граничном условии  $S_i(n_{0i}) = S_{0i}$ :

$$S_i(n_i) = S_{0i} \exp(-k_i(n_i - n_{0i})), \quad (4.4)$$

где  $n_{0i}$  – класс возраста начала разрушения древостоев (возраст спелости).

Коэффициенты  $k_i$  и  $\ln S_{0i}$  рассчитываются методами линейной регрессии по схеме, полученной из уравнения (4.4) после логарифмирования:

$$\ln S_i(n_i) = \ln S_{0i} - k_i(n_i - n_{0i}), \quad (4.5)$$

Расчет коэффициентов интенсивности разрушения перестойных лесов проводился для лесничеств Иркутской области. Если  $S_{0i}$  рассчитывать в долях от площади спелых и перестойных насаждений  $i$ -й породы, то значения коэффициентов  $k_i$  и  $\ln S_{0i}$  в (4.5) оказываются коррелированы

$$\ln S_{0i} + k_i n_{i0} = 6,46k_i + 10,03, R = -0,93 \quad (4.6)$$

т.е. линейные зависимости (4.5) образуют конгруэнцию с узлом в точке  $n_i = 6,46, \ln S_{0i} = 10,03$  (рисунок 4.14).

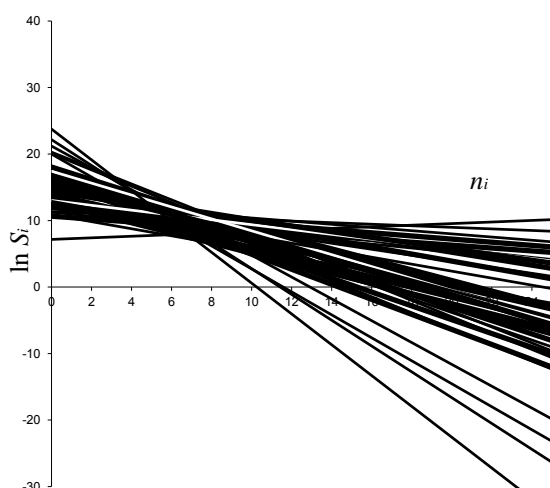


Рисунок 4.14. График зависимости площади перестойных лесов ( $S_i$ ) от класса возраста ( $n_i$ ) при разных  $k_i$  в полулогарифмическом масштабе

Уравнение (4.6) показывает, что процесс разрушения перестойных насаждений зависит только от одного показателя  $k_i$ , который характеризует конкретные лесорастительные условия, т.е. является индексом среды относительно рассматриваемого процесса, на основании которого рассчитывается значение  $p_i = 1/k_i + 1$  - показатель надежности сохранения лесов, т.е. чем больше  $k_i$ , тем меньше доля площади, на которой в процессе восстановительно-возрастной динамики сохраняются леса данной породы. Знание значения индекса  $k_i$  дает возможность учитывать специфику условий и при моделировании динамики структуры лесонасаждений переходить от одних расчетных уравнений к другим, что обеспечивает однозначность расчетной схемы, комплексный учет физико-географических характеристик территории. Этот переход осуществляется простым поворотом линии зависимости (4.5) вокруг точки узла конгруэнции (см. рисунок 4.14): процессы в одной среде преобразуются (калибруются) в процесс в других условиях по индексу  $k_i$ .

Таким образом, при создании прогнозных динамических моделей таежных геосистем появляется возможность добиться выполнения условия однозначности решения уравнений за счет учета начальных и граничных условий решения и специфики условий географической среды. В последнем

случае это осуществляется с помощью индексов среды  $k_i$ , определяющих значения констант функциональных зависимостей параметров природной системы. Следовательно, существуют закономерности непрерывного перехода по индексу среды от моделей, созданных для одних условий, к моделям для других условий.

**Модели локального уровня.** В основу математической модели локального уровня положена система дифференциальных уравнений первого порядка в частных производных [Черкашин, 1984], описывающих изменение во времени распределения деревьев  $i$ -й породы по характерному размеру  $\rho$  (в данном случае диаметру) в единичной окрестности точки  $\xi_0$  с координатами  $(x, y)$ :

$$\frac{\partial n^i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \rho} [v^i(t, \rho, \xi_0; N)n^i] = -a^i(t, \rho, \xi_0; N)n^i - u^i, i = \overline{1, l}, \quad (4.7)$$

где  $l$  - число лесообразующих пород в пределах рассматриваемого участка;  $n^i(t, \rho, \xi_0)$  - число деревьев  $i$ -й породы, приходящихся на единичную окрестность точки с координатами  $\xi_0$  и  $\rho$ ; коэффициенты  $a^i(\cdot)$  и  $v^i(\cdot)$  соответствуют интенсивности отмирания и скорости роста деревьев;  $N$  - общая плотность древостоя;  $u^i(t, \rho, \xi_0)$  - число вырубленных или посаженных за единицу времени деревьев диаметром  $\rho$  в момент  $t$  в окрестностях точки  $\xi_0$ .

Взаимосвязь различных участков местности в модели отражается, во-первых, через перенос семян, поэтому  $n^i_H(\cdot)$  является функцией распределения семенников по всей обследованной территории; во-вторых, через средообразующее влияние древостоев на окружающие участки местности.

При расчетах количество проростков вычислялось по формуле

$$n^i_s(t, 0, \xi_0) = (n^i_v(t, \xi_0) + n^i_s(t, \xi_0)) \cdot \varphi^i_R(R_0) \times \iint_S \gamma(\xi_0, \xi_1) \cdot P(\xi_1) d\xi_1, \quad (4.8)$$

где  $\varphi^i_R(R_0)$  - функция влияния освещенности под пологом леса ( $R_0$ ) на появление и выживаемость проростков;  $P(\xi_1)$  - общая сомкнутость крон деревьев в единичной окрестности точки  $\xi_1$ ;  $\gamma(\xi_0, \xi_1)$  - характеристика влияния сомкнутости крон лесонасаждений в точке  $\xi_1$  на возобновление леса в точке  $\xi_0$  (убывающая функция расстояния от  $\xi_1$  до  $\xi_0$ ).

В уравнении (4.8) физико-географический фон учитывается непосредственно в значениях  $n^i_v(\cdot)$  и  $n^i_s(\cdot)$ , а воздействие биогеоценотических условий связывается с освещенностью под пологом леса и сомкнутостью крон лесонасаждений. Последнее дает возможность отразить некоторые особенности возобновительного процесса. Сомкнутость крон является регулятором биомассы травянистого покрова, увеличение последней снижает, особенно на вырубках, количество всходов деревьев; с другой стороны, возрастание сомкнутости крон ухудшает условия освещенности под пологом леса и ведет к затуханию возобновительного процесса и одновременно к снижению биомассы травянистых. Сигналом к появлению жизнеспособных вегетативных побегов является резкое уменьшение сомкнутости крон деревьев, например, после пожаров, рубок, размножения вредителей. В модели подобный эффект учитывается путем сравнения величины показателя сомкнутости на смежных шагах численного интегрирования.

Данная модель работает с информацией уровня выделенных данных. Ее можно использовать для создания местных таблиц хода роста, планирования выборочных рубок, например, для реконструкции лесонасаждений.

**Модели субрегионального уровня.** Модели этого уровня имеют в современных условиях наибольшее прикладное значение, поскольку описывают динамику лесов в терминах изменения распределения их площадей и запасов во времени и в пространстве. В этих терминах можно описать изменение структуры лесов от уровня области в целом до динамики внутреннего площадного строения лесонасаждений отдельного лесного квартала.

В модели субрегионального уровня отражена динамика лесного фонда лесосырьевой базы по категориям земель и группам возраста: нелесной площади ( $S_H$ ), не покрытой лесом площади ( $S_0$ ), покрытой лесом площади, в том числе молодняком и средневозрастным лесом ( $S_1$ ), приспевающими ( $S_2$ ), спелыми и перестойными лесами ( $S_3$ ). Характеристики площади  $S_i(t, \xi_1)$  пространственно распределены и изменяются во времени. Динамика этих показателей описывается формулами [Черкашин, 1984]



$$\begin{aligned}
dS_H/dt &= -\lambda_{H0}S_H(t, \xi_1) + \lambda_{0H}S_0(t, \xi_1) + u_H(t, \xi_1); \\
dS_0/dt &= -\lambda_{01}S_0(t, \xi_1) + \lambda_{H0}S_H(t, \xi_1) - \lambda_{0H}S_0(t, \xi_1) + \sum_j u_j(t, \xi_1) - u_{H0}(t, \xi_1) \\
dS_1/dt &= \lambda_{01}S_0(t, \xi_1) - \lambda_{12}S_1(t, \xi_1) - u_1(t, \xi_1) - u_{H1}(t, \xi_1); \\
dS_2/dt &= \lambda_{12}S_1(t, \xi_1) - \lambda_{23}S_2(t, \xi_1) - u_2(t, \xi_1) - u_{H2}(t, \xi_1); \\
dS_3/dt &= \lambda_{23}S_2(t, \xi_1) - u_3(t, \xi_1) - u_{H3}(t, \xi_1),
\end{aligned} \tag{4.9}$$

где  $\lambda$  - коэффициент интенсивности перехода площади из одной категории земель или группы возраста в другую;  $u_j(t, \xi_1)$  - ежегодная площадь рубок в лесонасаждениях  $j$ -и группы возраста в момент времени  $t$  в единичной окрестности точки  $\xi_1$ ;  $u_H(t, \xi_1)$  - увеличение нелесной площади в ходе капитального строительства за счет других категорий земель ( $u_{Hi}$ ).

Предполагается, что древесина заготавливается в ходе рубок главного и дополнительного пользования в лесонасаждениях разных возрастных групп.

Динамика площади рубок  $u^p(t, \xi_1) = \sum_{j=1}^3 u_j(t, \xi_1)$  может быть представлена уравнением

$$\frac{\partial u^p}{\partial t} + a \frac{\partial u^p}{\partial x} + b \frac{\partial u^p}{\partial y} = U(t, \xi_1; W), \tag{4.10}$$

где  $a$ ,  $b$  - характеристики темпов перемещения рубок, зависящие от распределения запаса  $W(t, \tau, \xi_1)$  лесонасаждений по площади лесосырьевой базы;  $U(t, \xi_1; W)$  - централизованное управление (функция лица, принимающего решения) территориальным распределением ресурсов производства (определяется пространственно-возрастной структурой запасов древесины, планируемыми объемами лесозаготовок, планом строительства дорог и т. д.).

Относительная простота модели и ее информационного обеспечения позволяет рассчитывать оценку рационального лесопользования для значительных территорий. В качестве исходной информации используются данные квартальных итогов. Уровень пространственного разрешения этих данных соответствует размеру кварталов, что равно по разным категориям лесоустройства прямоугольникам  $2 \times 4$  км<sup>2</sup> или  $1 \times 2$  км<sup>2</sup>. Элементарной ячейкой управления здесь становится квартал, который считается однородным по природным характеристикам участком лесной территории. Основными

переменными становятся площади и запасы лесонасаждений с учетом их распределения по группам возраста.

**Модели регионального уровня.** В модели регионального уровня используются следующие переменные: общая нелесная площадь ( $S_H$ ) территории, общая не покрытая лесом площадь ( $S_{i0}$ ), покрытая лесом площадь с преобладанием  $i$ -й породы, в том числе молодняками первого ( $S_{i1}$ ) и второго ( $S_{i2}$ ) класса возраста, средневозрастными лесами ( $S_{i3}$ ), приспевающими ( $S_{i4}$ ), спелыми ( $S_{i5}$ ) и перестойными ( $S_{i6}$ ) лесонасаждениями. Все эти переменные зависят от времени. Динамика этих показателей описывается формулами:

$$\begin{aligned}
 dS_H/dt &= -\lambda_{H0}S_H(t) + u_H(t); \\
 dS_{i0}/dt &= -\lambda_{01}S_{i0}(t) + \lambda_{H0}S_H(t) + u_P(t) + u_\Gamma(t) - u_{0H}(t) - u_K(t); \\
 u_P(t) &= \sum_{i,j} u_{Pij}(t); \quad u_K(t) = \sum_i u_{Ki}(t); \quad u_H(t) = \sum_{i,j} u_{Hij}(t) + \sum_i (u_{Hoi}(t) + u_{HKi}(t)) \\
 dS_{Ki}/dt &= -\lambda_{K1i}S_{Ki}(t) + u_{Ki}(t) + u_{KH_i}(t) - u_{\Gamma Ki}(t); \\
 dS_{i1}/dt &= \lambda_{K1i}S_{Ki}(t) + \lambda_{01}p_{0i}S_{i0}(t) - \lambda_{12i}S_{i1}(t) - u_{P1i}(t) - u_{H1i}(t) - u_{\Gamma12}(t); \\
 dS_{i2}/dt &= \lambda_{12i}S_{i1}(t) - \lambda_{23i}S_{i2}(t) - u_{P2i}(t) - u_{H2i}(t) - u_{\Gamma2}(t); \\
 dS_{i3}/dt &= \lambda_{23i}S_{i2}(t) - \lambda_{34i}S_{i3}(t) - u_{P3i}(t) - u_{H3i}(t) - u_{\Gamma3}(t) + I_i; \\
 dS_{i4}/dt &= \lambda_{34i}S_{i3}(t) - \lambda_{45i}S_{i4}(t) - u_{P4i}(t) - u_{H4i}(t) - u_{\Gamma4}(t); \\
 dS_{i5}/dt &= \lambda_{45i}S_{i4}(t) - \lambda_{56i}S_{i5}(t) - u_{P5i}(t) - u_{H5i}(t) - u_{\Gamma5}(t); \\
 dS_{i6}/dt &= \lambda_{56i}S_{i5}(t) - u_{P6i}(t) - u_{H6i}(t) - u_{\Gamma6}(t) - I_i,
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

где  $\lambda_{jKi}$  - коэффициент интенсивности перехода площади из одной ( $j$ ) категории земель или группы возрастов в другую ( $K$ ) для лесов с преобладанием  $i$ -породы или для определенной категории земель (без индекса  $i$ );  $p_{0i}$  - доля не покрытых лесом площадей, зарастающая молодняками с преобладанием  $i$ -й породы;  $u_{Pij}(t)$  - ежегодная площадь лесозаготовок в лесонасаждениях  $i$ -й породы  $j$ -й группы возраста в момент времени  $t$ ;  $u_H(t)$  - увеличение нелесной площади в ходе капитального строительства за счет других категорий земель ( $u_{Hij}$ );  $u_K(t)$ ,  $u_{Ki}(t)$  - ежегодная площадь лесопосадок в целом и для культур  $i$ -й породы;  $u_\Gamma(t)$ ,  $u_{\Gamma Ki}(t)$ ,  $u_{\Gamma ij}(t)$  - ежегодная выгораемая площадь в целом, культур  $i$ -й породы и лесов  $i$ -й породы  $j$ -го возраста;  $I_i$  - темпы прироста площади средневозрастных лесов молодняков  $i$ -й породы в результате смены пород;  $I_i$  - темпы уменьшения площади перестойных лесов в результате смены пород.

Математическая модель реализована на персональном компьютере, решена задача ее информационного обеспечения применительно к условиям области, использована лесоустроительная информация для решения прогнозных задач, проведена проверка адекватности модели по ретроспективному анализу. За начальный момент расчета по модели был выбран 1973 г., для которого имеется достоверная информация о состоянии лесного фонда, полученная на основе данных инвентаризации лесов.

На рисунке 4.15*а* изображен график временной динамики лесных ресурсов (1973-2023 гг.) с учетом естественной смены пород, а также вырубок и пожаров (предполагается постоянное увеличение рубки хвойных лесов), изъятия лесов лесного фонда в результате капитального строительства, учитывается процесс создания лесных культур и их перевод в молодняки. В качестве одного из вариантов прогнозного расчета рассматривалась естественная динамика лесных массивов в отсутствии антропогенных воздействий (рисунок 4.15*б*). Особенностью поведения лесной системы в данном случае является рост площадей лесов светлохвойных пород и кедра и снижение площади березовых лесов. Резко уменьшаются площади не покрытых лесом земель. Это отражает естественную с экологической точки зрения и характерную для Иркутской области динамику таежных лесов.

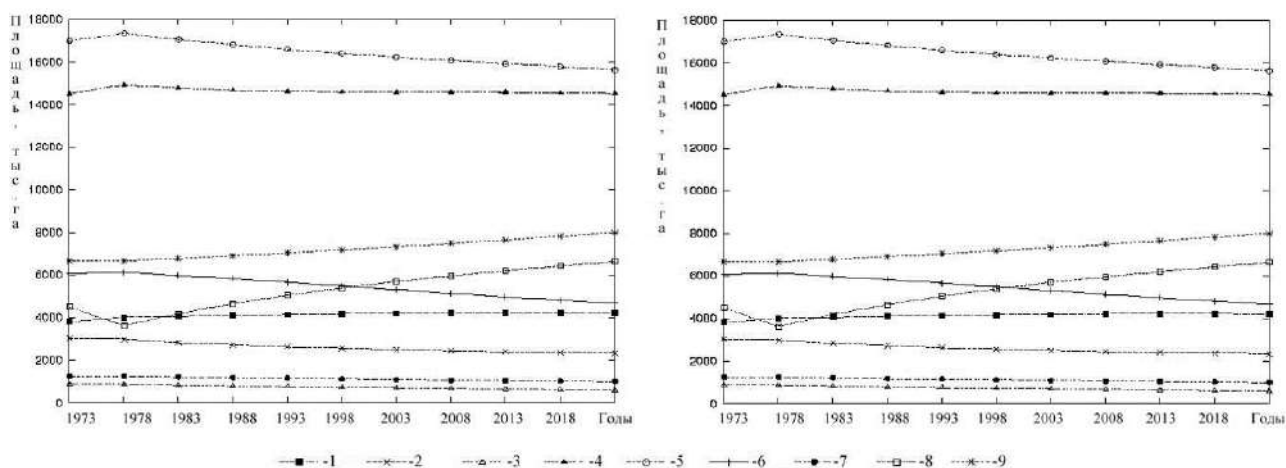


Рисунок 4.15. График *а*) естественной и антропогенной временной динамики лесных ресурсов (1973-2023 гг.), *б*) естественной временной динамики лесных ресурсов (1973-2023 гг.) (1- кедр, 2 –ель, 3 – пихта, 4 – сосна, 5 – лиственница, 6 – береза, 7 – осина, 8 - непокрытая лесом площадь, 9 – нелесная площадь).

Тенденции изменения расчетных и наблюдаемых характеристик динамики площадей лесов Иркутской области совпадают, что говорит об адекватной работе модели и возможности ее использования для прогнозных и оптимизационных расчетов (рисунок 4.16). Из результатов прогнозных расчетов, на период до 2023 г., следует, что наиболее динамично будут изменяться площади лесов с преобладанием лиственницы и березы: площади сосновых и лиственничных лесонасаждений уменьшаются в результате лесозаготовок, а березы и осины – за счет преимущественного восстановления этой породы на вырубках и гарях. Площади сосновых лесов сохраняются на определенном уровне за счет лесовосстановления (в расчетах принималось увеличение создания лесных культур, при увеличении объемов рубок). Из расчетов также наблюдается сильное увеличение нелесных площадей, что связано в основном с увеличением жилой застройки, увеличением площади сельскохозяйственных угодий, капитальным строительством и производственной деятельностью предприятий, и увеличение непокрытых лесом площадей за счет пожаров и рубок главного пользования.

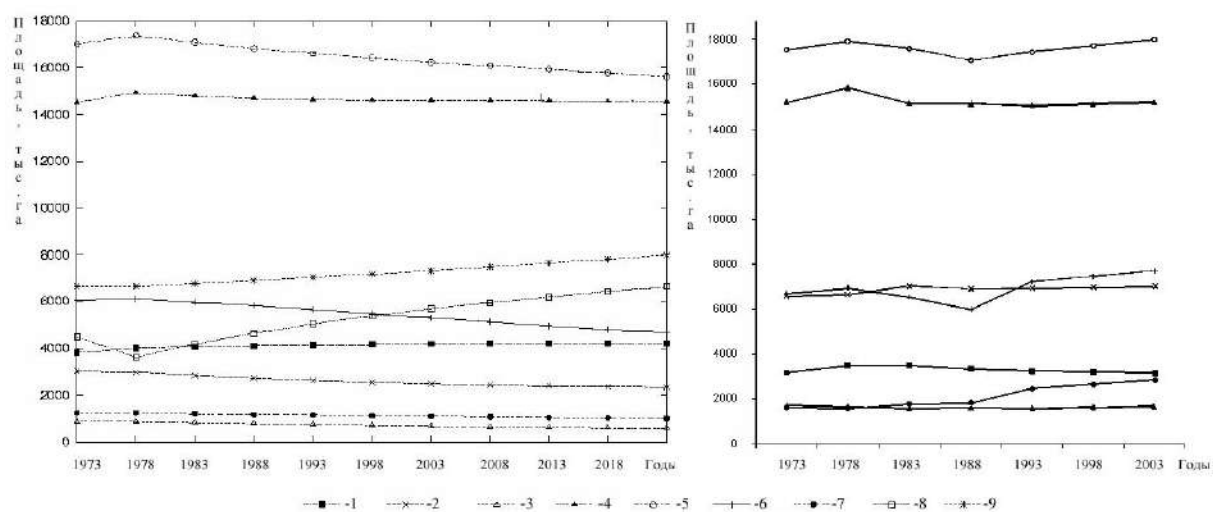


Рисунок 4.16. Сравнение расчетных и наблюдаемых характеристик динамики площадей лесов Иркутской области (1- кедр, 2 –ель, 3 – пихта, 4 – сосна, 5 – лиственница, 6 – береза, 7 – осина, 8 - непокрытая лесом площадь, 9 – нелесная площадь)

**Сценарии моделирования и многокритериальная оптимизация.** При проведении расчетов по моделям пользователю доступны для изменения параметры объема рубок главного пользования, рубок ухода, пожаров и

лесопосадок. Каждый из этих параметров может принимать три значения: 0% (отсутствие), 50% (половина объема) и 100% (полный объем).

Результаты расчетов оцениваются по набору критериев:

1.  $\max_j \min_i W^j(t_j)$ , где  $W^j(t_i)$  – запас древесины (по всем породам и возрастам), рассчитанный по  $j$ -му сценарию в году  $t_i$ ;
2.  $\min_j \max_i S_0^j(t_j)$ , где  $S_0^j(t_i)$  – площадь «непокрытая лесом», рассчитанная по  $j$ -му сценарию в году  $t_i$ , на которой лес может произрастать;
3.  $\max_j (S_4^j + S_5^j)$ , где  $S_4^j(t_i)$ ,  $S_5^j(t_i)$  – соответственно площадь спелых и перестойных лесов, рассчитанная по  $j$ -му сценарию за прогнозируемый период.
4.  $\min_j \max_i S_5^j(t_j)$ , где  $S_5^j(t_i)$  – площадь перестойных лесов, рассчитанная по  $j$ -му сценарию в году  $t_i$ .

Каждый расчетный сценарий оценивается по данному набору критериев. Многокритериальность является неотъемлемой чертой большинства реальных задач выбора и требует специальных методов анализа. В теории принятия решений, когда допустимые решения оцениваются одновременно по нескольким показателям (критериям), широко используется принцип Эджворта - Парето, согласно которому наилучшие решения следует выбирать среди парето-оптимальных решений [Владимиров, Попова, 2007]. Принцип Эджворта-Парето, который представляет собой фундаментальный инструмент выбора решений при наличии нескольких критериев, вытекает из определения множества Парето. Решение  $x^* \in X$  называется оптимальным по Парето (парето-оптимальным), если не существует такого возможного решения  $x \in X$ , для которого имеет место неравенство  $f(x) \geq f(x^*)$ . Все парето-оптимальные решения образуют множество Парето, обозначаемое  $P_f(X)$ . Если в приведенном определении формально положить число критериев равным единице, т.е.  $m = 1$ , то оно превратится в определение максимального элемента функции  $f_1$  на множестве  $X$ . Это означает, что понятие парето-оптимальности можно рассматривать как обобщение понятия максимального элемента на случай нескольких критериев.

В соответствии с приведенным определением  $P_f(X) = \{x^* \in X \mid \text{не существует такого } x \in X, \text{ что } f(x) \geq f(x^*)\}$ . Пусть  $x^*$  – некоторое парето-оптимальное решение и  $f(x^*)$  – соответствующий ему парето-

оптимальный вектор. В соответствии с парето-оптимальным определением, если для некоторого решения  $x^* \in X$ , отличного от  $x^*$ , оказывается выполненным неравенство  $f_i(x) \geq f_i(x^*)$ , то обязательно должен быть найден, хотя бы, один номер  $j$ , при котором верно неравенство  $f_j(x^*) > f_j(x)$ . На основании этого можно сделать следующее заключение: парето-оптимальное решение – это такое допустимое решение, которое не может быть улучшено (увеличено) ни по одному из имеющихся критериев без ухудшения (уменьшения) по какому-то, хотя бы одному, другому критерию. Иначе говоря, предпочитая одному парето-оптимальному решению другое парето-оптимальное решение необходимо идти на определенный компромисс, соглашаясь на некоторую потерю хотя бы по одному критерию (получая, разумеется, определенный выигрыш, по крайней мере, по какому-то другому критерию) [Владимиров, Попова, 2007].

В таблице 4.2 приведены результаты выделения множества парето-оптимальных решений и значения параметров по 10 сценариям для всех лесничеств Иркутской области. В столбце «Парето» значение 1 соответствует тому, что данный критерий вошел в это множество, значение 0 – не вошел.

Таблица 4.2

Результаты выделения парето-оптимальных решений из 10 сценариев моделирования.

№	Парето	Параметры			
		уход, %	рубки, %	пожары, %	посадки, %
1.	1	100	100	100	100
2.	0	0	100	50	0
3.	1	0	100	50	50
4.	0	0	50	100	0
5.	1	50	50	100	0
6.	1	0	50	50	100
7.	0	50	0	100	0
8.	0	0	50	100	0
9.	1	50	0	0	100
10.	0	0	50	50	0

Таким образом, из 10 сценариев было отброшено 5. Оптимальными сценариями для управления лесными ресурсами являются: 1) проведение в полном объеме рубок главного пользования, рубок ухода и лесопосадок, с учетом текущего числа пожаров в лесах области; 2) отсутствие рубок главного пользования, проведение рубок ухода в полном объеме, лесопосадок – в половине объема, уменьшение количества пожаров в 2 раза; 3) проведение рубок главного пользования и рубок ухода в половине объема, отсутствие лесопосадок, при текущем числе пожаров; 4) отсутствие рубок главного пользования, проведение рубок ухода в половине объема, лесопосадок – в полном объеме, уменьшение количества пожаров в 2 раза; 5) увеличение лесопокрытых площадей и запасов древесины по всем группам возраста - отсутствие рубок главного пользования, проведение рубок ухода в половине объема, лесопосадок – в полном объеме, отсутствие пожаров.

Полученные в результате расчета данные (распределение площадей по породам и классам возраста, а также и по времени) формируют базу данных формата CSV, и по запросу пользователя отображаются виде графиков. Пользователь сам задает, какие комбинации каких переменных модели необходимо отображать в виде графиков временных рядов, в т.ч. возможно отображать данные как по каждой породе в отдельности, так и суммарно по всем породам.

Для отображения результатов в виде картографического произведения данные из базы данных расчета передаются в ГИС-подсистему, которая и производит их отображение на соответствующей основе. В качестве основы используется сетка границ лесничеств. Для создания картографического произведения необходимо выбрать характеристику лесных ресурсов (переменную модели или некоторое математическое выражение над переменными), которая должна быть отображена, например, доля площади лесов хвойных пород возраста спелости).

Система позволяет строить карты по моделям для любого момента расчетного времени. При этом существует возможность экспортировать изображения в файл формата JPEG с последующим созданием анимационных

изображений. Также система дает возможность для каждой стадии расчета динамики лесов формировать новое изображение как новый слой тематической карты. Динамика объекта исследования представляется серией картографических слоев, помеченных соответствующим моментом времени. Эти слои при последовательном подключении формируют картографическую анимацию, отображающую изменение во времени и в пространстве различных характеристик лесов.

На рисунке 4.17 приведены результаты расчета по модели динамики лесного фонда лесничеств Иркутской области с учетом распределения площади лесов по категориям, породам и группам возраста (модель регионального уровня).

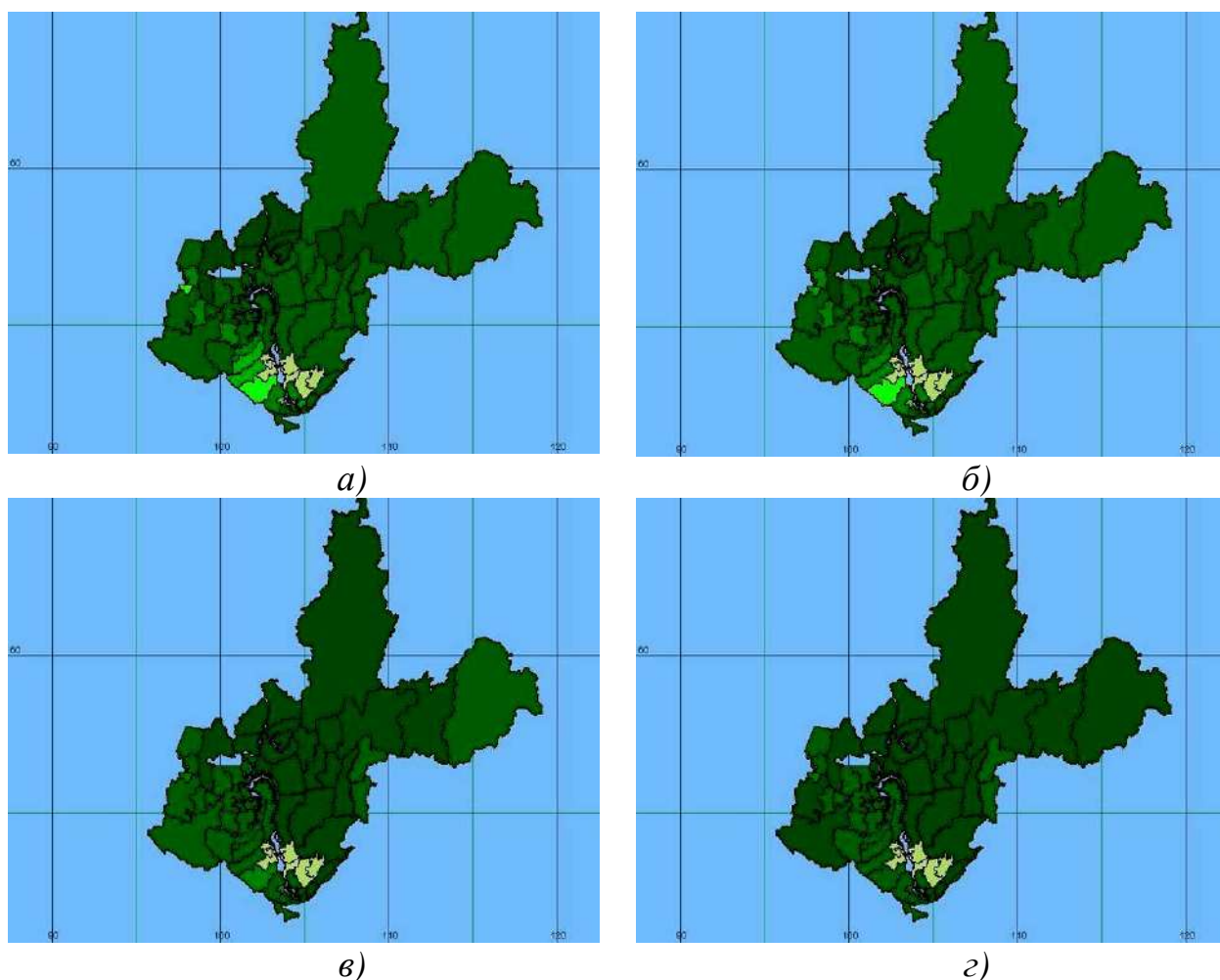


Рисунок 4.17. Динамика естественного изменения распределения лесных ресурсов хвойных пород спелого и перестойного классов возраста (*а* – начальный момент времени, *б* – через 5 лет, *в* – через 22 года, *г* - через 30 лет). Разным тоном зеленого цвета показаны запасы насаждений: от светлого к темному – в порядке увеличения запасов.



Результаты расчетов моделирования динамики лесов по субрегиональной модели, с учетом проведения рубок главного пользования, без учета лесовосстановления и пожаров показаны на рисунке 4.18. Направление вектора рубок в данном примере показано на рисунке 4.18 *а*) красной стрелкой, соответственно рубки рассчитывались только для территории, примерно очерченной прямоугольником. Расчеты велись для территории Эдучанского лесничества Усть-Илимского района, максимальная мощность лесозаготовок оценивалась в 500 тыс. м<sup>3</sup>/год, карты состояния спелых и перестойных лесов (относительная площадь спелых и перестойных лесов к общей площади квартала) в начальный момент моделирования, через 50 и 100 лет приведены на Рисунке 4.18 *б*) и *в*).

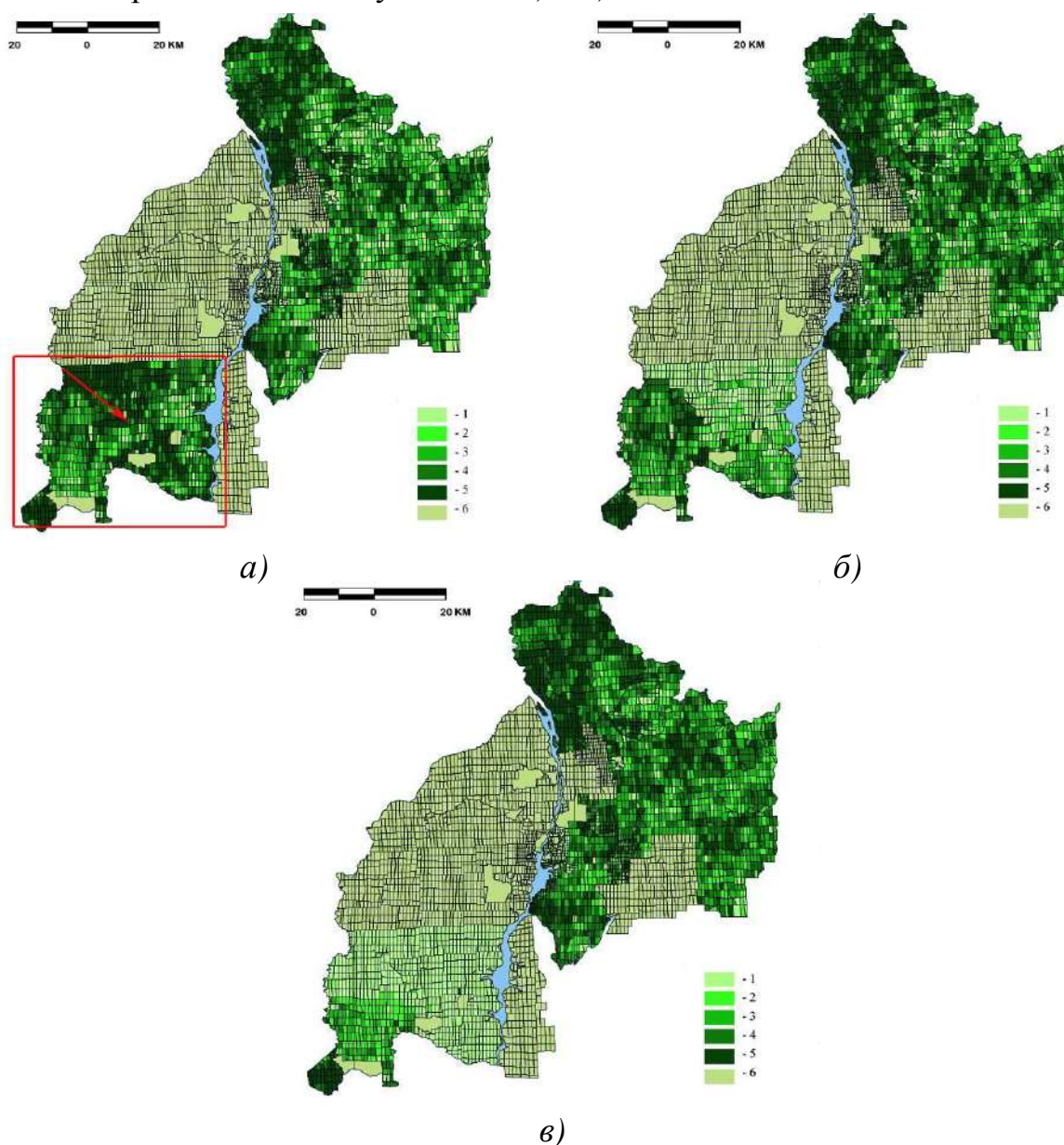


Рисунок 4.18. Относительная площадь спелых и перестойных лесов к общей площади квартала. Состояние лесов *а*) на начало периода

моделирования, б) через 50 лет, в) через 100 лет. (1 – до 20%, 2 – 20-40%, 3 – 40-60%, 4 – 60-80%, 5 – более 80%, 6 – нет данных)

Кроме того, нами составлены графики объемов рубок при различных стратегиях использования лесных ресурсов на период моделирования 100 лет (рисунок 4.19). При ежегодном объеме рубок в 500 тыс. м<sup>3</sup> запасов спелых и перестойных насаждений хватит на весь период моделирования, рубки будут вестись с максимальной мощностью 95 лет, после чего произойдет небольшое снижение их объема. Если же увеличить максимальную мощность до 700 тыс. м<sup>3</sup>/год, то запасов спелых и перестойных насаждений хватит только на 48 лет, после чего объемы рубок начнут снижаться и к концу интервала моделирования уменьшатся более чем вдвое.

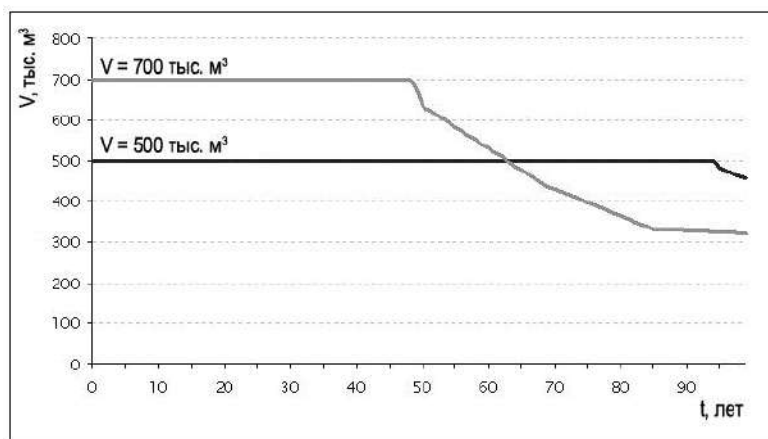


Рисунок 4.19. Изменение реального объема лесозаготовок при различных стратегиях использования лесных ресурсов.  $V$  – Объем лесозаготовок, тыс. м<sup>3</sup>,  $t$  – время, лет.

Таким образом, расчеты показывают, что в результате промышленных рубок через 50 лет после их начала на моделируемой территории лесничеств резко сократится площадь спелых и перестойных древостоев и уменьшится показатель лесистости. На северо-западе территории часть приспевающих древостоев перейдет в спелые леса. Спустя 100 лет после начала лесозаготовок почти все спелые и перестойные леса на моделируемой территории будут вырублены. К оптимальной мощности лесозаготовительного предприятия близок ежегодный объем рубок в 500 тыс. м<sup>3</sup>.

Точная оптимизация лесопользования на близкую и особенно достаточно отдаленную перспективу определяется сложностью функционирования динамической системы лесопользование–лесовозобновление, длительностью этого процесса, его зависимостью от большого количества естественных и антропогенных факторов (лесные пожары, самовольные рубки, лесовосстановление, охрана леса, создание лесных культур и др.).

Прогнозирование динамики лесных ресурсов с использованием интеллектуальной гибридной ГИС позволяет наглядно демонстрировать прогнозируемые изменения, сравнивать результаты разных стратегий управления, оценивать ожидаемые доходы и ущербы.

Появление интегрированных ГИС лесных ресурсов связано с новыми требованиями к качеству информации о состоянии лесов в условиях, когда непосредственный ее сбор на местности по разным причинам невозможен. Необходимо переходить на дистанционные методы оценки состояния лесов и актуализацию старой информации по уже имеющейся с использованием моделей. Разнообразные алгоритмы преобразования информации, реализуемые в ГИС по запросу пользователя, намного повысили эффективность применения данных и карт для решения различных справочно-аналитических задач.

Современный этап развития ГИС-технологий для управления лесопользованием - это моделирование пространственно-временной динамики лесных ресурсов, создание динамических рядов данных и прогнозных карт изменений, оценка эффективности хозяйственной деятельности на перспективу, оптимизация лесопользования с учетом индивидуальных особенностей местоположения лесонасаждений. Решение этих задач возможно лишь при интеграции ГИС-технологий, математических моделей, основанных на знании природных закономерностей и материалах лесной таксации.

Создание системы моделей принятия решений в управлении лесными ресурсами на основе математических моделей, методов географического картографирования и геоинформационных технологий должно обеспечить

интегрирование информационных потоков в лесоустройстве и лесохозяйственной деятельности, наглядное отображение достоверной организованной информации о пространственной и временной изменчивости состояний лесных ресурсов. В целом данная система должна способствовать обеспечению управленческой деятельности, необходимой для эффективной защиты и рационального использования лесов, учета экологических факторов и местных условий хозяйствования, снижения экологических рисков природопользования.

Рассмотренные функциональные возможности ГИС со встроенными подсистемами моделирования и отображения информации формируют гибридную интеллектуальную ГИС, реализующую идею прогнозного динамического картографирования.

\* \* \*

Картографирование эффективно на всех этапах географического прогнозирования. Соответственно выделяются универсальные и специальные (оценочные и прогнозно-рекомендательные) карты. Поэтому с программно-целевых позиций географическое прогнозирование следует рассматривать как единый сложный многоэтапный картографический процесс, имеющий свою логику и структуру.

На первом базовом (инвентаризационном) этапе центральное место в прогнозно-географических исследованиях занимает изучение пространственной и динамической структуры геосистем изучаемого региона. Здесь наиболее эффективно универсальное ландшафтное картографирование, опирающееся на принципы структурно-динамической и типологической классификации геосистем, разработанных академиком В.Б. Сочавой [1968, 1979]. Основа этого подхода заключается в оценке дифференциации географической среды в пределах ее целостных подразделений, обладающих устойчивостью на определенный отрезок времени и в то же время подверженных непрерывным естественным и антропогенным изменениям.

Геоинформационная система, объединяющая оперативную космическую информацию, материалы текущей инвентаризации природных ресурсов, хозяйственные характеристики природопользования, ландшафтно-типологические карты разного масштаба и систему математических моделей, становится информационной основой для проведения географических исследований, прогнозирования и планирования использования природных ресурсов на разных уровнях организации территории.

Второй, оценочный, этап прогнозно-картографических исследований, естественно, полностью опирается на универсальные карты геосистем. Последние являются информационной базой при составлении специальных оценочных карт в сопряженном масштабе. Содержание таких карт определяется задачами получения необходимой информации об особенностях геосистем, необходимых для дальнейшей разработки прогнозов и получения объективных результатов. К числу таких важных характеристик геосистем относятся показатели ее состояния и нарушенности, устойчивости и экологического потенциала.

Системные блоки оценки и прогнозирования динамики таежных геосистем учитывают возможности современных геоинформационных технологий, позволяющих на единой основе интегрировать накопленные эколого-географические знания, разработанные ранее модели и методы решения задач дешифрирования космических снимков для прогнозирования динамики геосистем и оптимального управления природопользованием и перейти к созданию интеллектуальной геоинформационной системе (ИнтГИС). Особенностью, разрабатываемой ИнтГИС является многоуровневый подход, учитывающий иерархию геосистем, и индивидуальная привязка моделей к конкретным географическим условиям.

На третьем, собственно прогностическом этапе происходит обобщение и взаимное увязывание сведений, полученных на предыдущих этапах исследований с целью получения представлений о ландшафтной структуре в будущем.

Функциональные возможности ИнтГИС со встроенными подсистемами моделирования и отображения информации формируют гибридную ГИС, реализующую идею прогнозного и интерпретационного картографирования. Прогнозное многоуровневое картографирование обеспечивает создание (отображение геосистем) и использование (исследование геосистем) карт для комплексного географического прогнозирования. При прогножном картографировании оба метода находятся в тесном взаимодействии, что наиболее ярко проявляется в процессе математико-картографического моделирования. Интерпретационное картографирование основано на извлечении новых знаний из классификационной позиции каждого выдела, например, отнесение ландшафтной фации к восстановительному ряду конкретного типа леса позволяет судить о динамике и времени формирования лесных сообществ, о периодах доминирования определенных элементов леса, оказывающее эдификаторное и регуляционное воздействие на внутриценотическую среду и биогеоценотические процессы. В этом случае использование ГИС-технологии дает возможность добиться высокой степени автоматизации картосоставления и получить необходимое количество прогнозных тематических карт.

Особенностью прогностического этапа является его собственная оценочная составляющая, т.к. после создания прогнозного представления о геосистем или растительности будущего необходимо еще и провести оценку прогноза с экологической и ресурсной позиций. Все это необходимо для разработки рекомендаций по хозяйственной деятельности, нацеленных на снижение или недопущение экологических, или ресурсных нежелательных последствий. Рекомендуемые хозяйственные мероприятия должны быть направлены на максимальное восстановление нарушенной антропогенными воздействиями коренной структуры геосистем, а антропогенные нагрузки не должны препятствовать ее естественной динамике.

## **Глава 5. Оптимизация природопользования в Байкальской Сибири**

Один из главных принципов оптимизации природопользования состоит в использовании и совершенствовании потенциальных возможностей и тенденций, заложенных в самой природе [Исаченко, 2003]. Наиболее полно данный принцип был раскрыт в концепции сотворчества человека и природы, сформулированной В.Б. Сочавой [1979]. Человек, действуя в союзе с природой, может достигнуть наиболее устойчивых результатов оптимизации природопользования. Конечно, многие естественные тенденции, свойственные геосистемам, не всегда и не в полной мере соответствуют потребностям человека, в некоторых случаях приходится нарушать сложившееся равновесие для искусственного поддержания новых, неустойчивых культурных модификаций геосистем.

Исследования по оптимизации природопользования в обязательном порядке должны содержать: 1) аналитический обзор природных условий и ресурсов, современного использования территории; 2) всесторонний анализ антропогенного воздействия на структуру и функционирование геосистем; 3) применение полученных результатов к решению конкретных практических задач по рациональному использованию, охране, рекультивации геосистем.

Цели и задачи оптимизации природопользования определяются двумя главными критериями: 1) высокой производительностью и экономической эффективностью, 2) оптимальной экологической средой для жизни людей и сохранением экологического потенциала геосистем. Повышение экономической эффективности должно достигаться за счет рационального использования и расширенного воспроизводства природных ресурсов. Рациональное использование относится ко всем видам ресурсов, воспроизводство - только к возобновляемым и, в первую очередь, биологическим.

Различают три главных направления оптимизации геосистем [Исаченко, 2003]:

1. Активное воздействие с использованием методов, которые можно назвать преобразовательными (имея в виду, что преобразованная геосистема в любом случае остается модификацией коренной природной геосистемы);

2. Регламентированное, преимущественно экстенсивное использование с соблюдением строгих норм хозяйственного освоения, которое направлено на поддержание природного равновесия в геосистеме. Данный принцип оптимизации можно характеризовать, согласно Л. Бауэру, Х. Вайничке [1971], В.Б. Сочаве [1978], как заботу о ландшафте или уход за ландшафтом. Выполнение минимальных мер по уходу (например, рубки ухода и санитарные, т.п.) при соблюдении строгих норм и правил природопользования существенно способствуют повышению экологического потенциала геосистем.

3. Консервация, иначе говоря, сохранение естественного (спонтанного) состояния. Данным направлением необходимо пользоваться для защиты эталонных геосистем, поддержания генофонда растений и животных, для водоохраных, почвозащитных и других целей.

Как уже было отмечено выше, В.Б. Сочава [1978] подчеркивал, что в основе всякого преобразования геосистем должно лежать представление об его инварианте, а разработку мер по оптимизации геосистем необходимо производить на их естественной классификации. Одной из главных задач оптимизации геосистем является сохранение коренной структуры или создание возможно более устойчивой ее модификации. Задача сводится к тому, чтобы выбрать из множества возможных переменных состояний наиболее оптимальный вариант. Относительная устойчивость - существенный критерий оптимальности. Чем более устойчивой является геосистема, тем она, и экономичнее, так как на поддержание своих функций требуется меньше затрат средств и материальных ресурсов.

В практике современного природопользования уделяется недостаточное внимание к возможным экологическим последствиям, что в дальнейшем приводит к существенным антропогенным изменениям в окружающей природной среде, затрагивая экологическую безопасность населения.



В связи этим становится актуальным определение стратегических приоритетов в области охраны окружающей среды и природопользования, экологической безопасности, обеспечение подготовки и принятия комплексных решений, направленных на минимизацию негативного воздействия на окружающую природную среду, что требует формирования всеобъемлющего и взвешенного подхода государства к экологической политике.

### **5.1. Государственная экологическая политика в природопользовании: прошлое, настоящее, будущее.**

Становление и развитие государственной экологической политики как системы мер, направленных на сохранение окружающей природной среды и рациональное природопользование, в России проходило сложно и противоречиво. Специфика экономического, социального, политического, культурного развития общества неразрывно связаны с особенностями экологической политики государства.

В современных условиях приобретает определенную важность историческая составляющая экологической политики, когда жизнь человека, его взаимоотношения с обществом и окружающей природной средой определяют не только прошлое, настоящее, но и будущее.

Исторические, политические социальные, экономические, культурные и другие события, произошедшие в нашей стране за последний век и повлиявших на состояние природной среды, показывают отношение государства к экологической политике [Палехова, 2000]: коллективизация, индустриализация, последствия Великой отечественной войны, восстановление и развитие народного хозяйства, попытки решения крупных народнохозяйственных проблем, в том числе путем создания программ освоения целины, строительства целого ряда гидроэлектростанций, поворота сибирских рек; развитие научно-технического прогресса, освоение космического пространства, создание мощного военно-промышленного комплекса, разработка атомного оружия; поиск эффективных путей решения

внутригосударственных проблем; увеличение тенденций к урбанизированности территорий; смена политических, экономических и социальных основ развития общества и государства.

Результатом политики государства в области экологии, охраны и использования природных ресурсов стало исторически сложившееся потребительское отношение общества к окружающей среде, которое в итоге и привело к ряду экологических проблем. Экологический фактор начинает играть все более существенную роль в формировании экономики и качества жизни, что проявляется в виде быстро обостряющихся региональных и глобальных экологических проблем. К наиболее серьезным вызовам можно отнести климатические изменения и практически повсеместное воздействие антропогенного фактора, включая урбанизацию, техногенную трансформацию природных геосистем, вызывающих локальные и даже региональные изменения в системе природа – хозяйство – общество, вплоть до природных и природно-антропогенных катастроф [Семенов, 2014].

Российская Федерация (РФ), несмотря на принимаемые в последние годы меры в области экологии, по индексу экологической эффективности<sup>1</sup> до сих пор относится к государствам с не очень неблагоприятной экологической ситуацией. В 2014 г. Россия занимала 73 место из 178 стран, в 2018 г. - 52 из 180. Эффективность политики в области окружающей среды возрастает, но еще не достаточная для экономически развитых стран.

Долгосрочная стратегия развития РФ должна гарантированно обеспечивать устойчивое развитие государства на основе согласованных экологических, экономических и социальных интересов общества. Такое развитие дает возможность реализации права на благоприятную окружающую природную среду, охрану здоровья, и экологическую безопасность населения.

---

<sup>1</sup> Индекс экологической эффективности (Environmental Performance Index - EPI) разработан Йельским и Колумбийским университетами, совместно с Объединенным исследовательским центром Европейской комиссии [<http://epi.yale.edu/epi>]. Индекс экологической эффективности является комплексным сравнительным показателем успешности экологической политики стран во всем мире. Оцениваемые категории объединяются в две большие группы - жизнеспособность экосистемы (управление природными ресурсами) и экологическое здоровье, оценивающее влияние окружающей среды на здоровье человека.

Вступление РФ по ряду важнейших показателей в число передовых мировых держав определяет ее активное участие в поиске путей решений глобальных экологических проблем: климатические изменения, деградация биосферы, ограниченность и рациональное использование природных ресурсов и т.д. Переход от энергосырьевой к инновационной модели экономического развития, как основной долговременной стратегической цели развития РФ, должен быть связан с решением конкретных экологических проблем. Сама история развития человеческого общества подтверждает, что положительные социальные преобразования не могут быть достигнуты без существенного и качественного улучшения экологической ситуации.

Правовой основой государственной экологической политики РФ является Основной закон - Конституция РФ [1993]. Все другие законы, нормативные правовые акты должны соответствовать конституционным положениям, нормам и принципам.

Нынешняя Конституция РФ, как основной источник экологического права, значительно отличается от предшествующих отечественных конституций (1918, 1925, 1937, 1978 гг.) и обладает значительным потенциалом для прогрессивного развития экологической политики и эффективного действия экологического права.

Основной закон РФ устанавливает положения, определяющие место и роль природы в жизни общества; права собственности на природные объекты; объекты экологических отношений; экологические права человека; экологические функции субъектов права; федеративную структуру развития экологического законодательства (ст. 9, 36, 42, 58, 71, 72 и др.).

Необходимо обратить внимание на содержание некоторых положений Конституции РФ. В соответствии со ст. 9 Конституции РФ «земля и природные ресурсы являются основой жизнедеятельности человека и общества», поэтому должны соответствующим образом рационально использоваться и охраняться. Таким образом, задача рационального природопользования и охраны природы возложена на все субъекты экологического права, осуществляющие природопользование и оказывающие

вредное влияние на окружающую природную среду, но, прежде всего, она возложена на государство, обладающее всеми возможными средствами регулирования и принуждения для наиболее эффективного решения.

Согласно ст. 36 Конституции РФ, владение, пользование и распоряжение землей и другими природными ресурсами осуществляются их собственниками свободно, если это не наносит ущерба окружающей среде и не нарушает прав и законных интересов иных лиц. Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного здоровью или имуществу экологическим правонарушением (ст. 42 Конституции РФ). Но понятие благоприятной среды является немного размытым, само определение дается в ст. 1 Федерального закона №7-ФЗ от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды»: «Под благоприятной окружающей средой понимается окружающая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов; при этом качество окружающей среды - это такое ее состояние, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью».

Возникает вопрос - каждый имеет право на «благоприятную окружающую среду» или «безопасную для жизни и здоровья окружающую среду»? Прописанная в Конституции РФ позиция отражает суть антропоцентрического подхода и заключается в охране природы для поддержания или создания благоприятных экологических условий жизни человека. Противоположный природоцентрический подход исходит из необходимости сохранения живой природы в целом. К сожалению, повсеместно гарантировать выполнение стандартов, направленных на реализацию права каждого на благоприятную среду или безопасную для жизни и здоровья окружающую среду, невозможно из-за экономических, управленческих и иных проблем.

Возникают определенные трудности сопоставления и применения основанных на Конституции требований законодательства РФ о

здравоохранении, градостроительного законодательства, рационального использования животного мира, охраны атмосферного воздуха, которые напрямую не упомянуты в Конституции РФ, но связаны с окружающей природной средой; правореализация пошла по пути включения их в конституционные понятия «природопользование», «охрана окружающей среды» [Боголюбов, 2013].

В настоящее время, в условиях развития рыночной экономики, природопользование как сложная система взаимоотношений между природой и обществом испытывает сложный период замены старых концепций новыми, соответствующими современным природно-хозяйственным вызовам. Для регулирования прав, норм и ответственности в природопользовании сформирована обширная законодательная база на федеральном, региональном и местном уровнях власти. В то же время, рыночные механизмы оценки эффективности, отдающие предпочтение ресурсному аспекту природопользования в ущерб экологическому, разрушают парадигму устойчивого развития территорий, предусматривающую баланс экономических и экологических усилий [Белов, Соколова, 2014].

Возрастающие размеры антропогенных воздействий на окружающую природную среду определяют усиленное внимание к экологическим аспектам природопользования, или ее экологизации (рационализации). В результате, в апреле 2012 г. на федеральном уровне принят важный фундаментальный документ «Основы государственной политики экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденный Президентом РФ 30 апреля 2012 г.; данный документ определяет основные направления деятельности по совершенствованию механизмов реализации государственной экологической политики.

**Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года.** Охрана окружающей природной среды и рациональное природопользование занимает важное место в системе социально-экономических отношений. Всестороннее и своевременное решение природоохранных задач позволяет предотвратить не

только негативные экологические последствия от нерационального природопользования, но и связанные с ними экономические потери.

Современная экологическая политика РФ является главным фактором государственного управления социальной и экологической ситуацией в стране. Под экологической политикой государства понимается система специфических политических, экономических, юридических и иных мер, предпринимаемых государством для управления экологической ситуацией, обеспечения рационального природопользования на территории страны. В настоящее время, цель государственной экологической политики РФ - обеспечение гармоничного, динамично-сбалансированного развития экономики и общества и сохранение природы.

20 ноября 2013 года Президент РФ В.В. Путин на заседании Совета Безопасности заявил: «Нужно прямо сказать, долгое время вопросы экологической безопасности оставались на периферии государственного внимания. Во многих отраслях промышленности доминировали, да и, кстати говоря, по-прежнему часто доминируют именно так называемые «грязные» технологии.... Мы постепенно начали менять эту ситуацию в последнее время» [Стенограмма заседания..., 2013]. В.В. Путин отметил, что за прошедшие годы так и не сформировалась законодательная база по охране окружающей среды, необходимо разработать экологическую стратегию и поставить эту работу на системную основу.

Экологическая политика РФ основывается на Конституции, принципах и нормах международного права, международных договорах, федеральных законах, законах субъектов РФ и документах долгосрочного стратегического планирования, таких как:

- Основы государственной политики в области экологического развития РФ до 2030 года [2012];
- План действий по реализации «Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2012 г. № 2423-р];

- Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года [Распоряжение Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. РФ № 1662-р];
- Экологическая доктрина Российской Федерации [Распоряжение Правительства РФ от 31 августа 2002 г. № 1225-р];
- Климатическая доктрина Российской Федерации [Распоряжение Президента РФ от 17 декабря 2009 г. № 861-рп];
- Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года [Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537];
- Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р];
- Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года [Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 г. № 1235-р];
- Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию [Указ Президента РФ от 01.04.1996 № 440].

Экологическая политика - важная составная часть политики любого государства, основными элементами экологической политики являются принципы, приоритеты, цели, субъекты и механизмы реализации (инструменты).

«Стратегической целью государственной политики в области экологического развития является решение социально-экономических задач, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, реализации права каждого человека на благоприятную окружающую среду, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности» [Основы государственной..., 2012]. На наш взгляд, стратегическая цель государственной экологической политики РФ не совсем верно установлена. В политике стратегической целью не может быть решение каких-то важных, оперативных задач, все это – тактические вопросы. Нельзя путать стратегию и

тактику. Стратегической целью государственной экологической политики должна являться реализация закрепленного в Основном законе РФ права граждан на благоприятную окружающую природную среду, прав будущих поколений на пользование природно-ресурсным потенциалом, а также решение текущих социально-экономических задач в неразрывной связи с осуществлением адекватных мер по защите окружающей природной среды и улучшению ее качества, сбережению и восстановлению природных ресурсов, максимально достижимой замене невозобновляемых ресурсов вторичным сырьем и т.п.

Одной из основных задач государственной политики в области экологического развития является научное и информационно-аналитическое обеспечение охраны окружающей природной среды и экологической безопасности.

К основным целям экологической политики относятся:

- создание безопасной и благоприятной для существования человека окружающей среды;
- обеспечение баланса экономического благосостояния и экологического благополучия общества;
- минимизация негативного воздействия хозяйственной и иной видов деятельности на человека и окружающую природную среду;
- совершенствование природоохранного законодательства;
- сохранение и восстановление природной среды, санация нарушенных природных экосистем;
- ликвидация накопленного экологического ущерба, связанного с хозяйственной деятельностью;
- формирование инновационной, ресурсосберегающей и энергоэффективной экономической модели, гарантирующей минимальное негативное воздействие на окружающую природную среду при наибольшем хозяйственном эффекте.



В п. 8 Основ государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года указано, что реализация настоящих Основ осуществляется в соответствии со следующими принципами:

«– признания приоритетности для общества жизнеобеспечивающих функций экосферы перед прямым использованием её ресурсов, при соблюдении баланса потребностей населения в благосостоянии и экологическом благополучии;

– интеграции в мировую систему рыночной экономики, включающей учет влияния других государств, применение международных норм и стандартов в области охраны окружающей среды, сотрудничество в решении глобальных экологических проблем;

– системного и комплексного решения проблем обеспечения экологической безопасности и ведения природоохранной деятельности на локальном, региональном, федеральном и глобальном уровнях на основе оценки возможных экологических ущербов;

– создания системы действий, направленных на достижение и поддержание высоких мировых стандартов экологической безопасности на основе применения наилучших существующих и перспективных технологий производства, способов и методов охраны окружающей среды, развития системы экологического менеджмента;

– предупреждения негативного воздействия – создания системы приоритетных действий, направленных на предотвращение опасных экологических аспектов воздействия хозяйственной и иной деятельности на человека и окружающую среду;

– обоснованности и достаточности с учетом отдаленных последствий экологических норм и требований;

– постоянной готовности к предотвращению и ликвидации последствий аварий, катастроф и иных чрезвычайных ситуаций;

– ответственности субъектов хозяйственной и иной деятельности за ее экологические последствия, а также за экологические последствия деятельности лиц, правопреемниками которых они являются;

– открытости и доступности экологической информации;

- учета мнения населения, экологических общественных и иных некоммерческих объединений при принятии решений по реализации экологической политики;

- неотвратимости санкций за действия и бездействие, повлекшие ущерб окружающей среде и здоровью населения;

- создание научной основы охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности, а также учет результатов научных исследований в области охраны окружающей среды в целях социального, экономического и экологически сбалансированного развития РФ, создания научной основы охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности» [Основы государственной..., 2012, п. 8].

Данные принципы экологической политики совпадают с принципами охраны окружающей среды, заимствованные с незначительными изменениями из ст. 3. «Основные принципы охраны окружающей среды» Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [2002]. Понятия «охрана окружающей среды» и «экологическая политика» не являются синонимами, и, соответственно, не могут основываться на одних и тех же принципах [Уварова, 2016]

Можно отметить, что существует некоторое замещение принципов реализации государственной экологической политики на принципы охраны окружающей среды. Охрана окружающей среды - всего лишь часть государственной экологической политики. Охрана природы появилась задолго до возникновения экологической политики как отрасли государственной деятельности и традиционно была развита в России (например, сеть заповедников в Российской империи начала создаваться в начале XX века и успешно развивалась в СССР).

Достижение целей и задач, устанавливаемых в Основах Экологической политики РФ, должно выполняться на основе реализации следующих механизмов:

- развитие системы государственного и муниципального управления охраной окружающей среды и природопользованием;

- нормативно-правовое обеспечение деятельности в области охраны окружающей среды и природопользования;
- административные механизмы;
- экономические и финансовые механизмы;
- экологический мониторинг, информационное обеспечение природоохранной деятельности, доступ к экологически значимой информации;
- научное обеспечение;
- формирование экологической культуры, экологическое образование, воспитание и просвещение;
- региональная и территориальная экологическая политика.

В Основах государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года [Основы государственной..., 2012] уделяется мало внимания механизмам обеспечения баланса экономических и экологических интересов общества, например, не учитывается экологический потенциал геосистем (ландшафтов), экологическая емкость, запас устойчивости природных геосистем, ассимиляционный потенциал и т.д. Экологический потенциал должен использоваться только в неистощительном режиме, обеспечение которого должно являться основным предметом государственной экологической политики. Обеспечение неистощительного режима использования экологического потенциала геосистем требует оценки его современного и потенциального состояния – комплекса исследований, позволяющих разработать и закрепить в рамках схем территориального планирования (комплексной схемы охраны и использования природных ресурсов для Байкальской природной территории) специальные требования к режимам конкретных территорий на основе учета их индивидуальных особенностей. Учет экологического потенциала геосистем в схемах перспективного развития территорий позволит не допускать перегрузки территорий источниками негативного воздействия на окружающую среду, а планирование их перспективного размещения должно основываться на объективных показателях.

Таким образом, специфика экономического, социального, политического и культурного развития общества оказывает влияние на особенности экологической политики. К факторам, оказывающим непосредственное влияние на экологическую политику, относятся экономическая и социальная стабильность, темпы развития производства, масштабы природопользования, уровень экологической культуры населения и т.п. Основную роль в обеспечении экологической политики осуществляет государство, однако, в современном обществе государство является не единственным субъектом экологической политики, а лишь одним из них, наряду с научными и образовательными организациями, хозяйственными субъектами, общественными движениями и т.п.

Основной целью экологической политики РФ в настоящее время является создание условий для гармоничного и сбалансированного развития природы, общества и экономики. Особый акцент в Основах государственной политики в области экологического развития РФ сделан на признании приоритетности для общества жизнеобеспечивающих функций географической оболочки перед прямым использованием ее ресурсов при соблюдении баланса потребностей общества в экономическом благосостоянии и экологическом благополучии. Одной из основных задач государственной экологической политики является научное и информационно-аналитическое обеспечение охраны окружающей среды и экологической безопасности.

## **5.2. Экологические проблемы Байкальского региона**

Задаче охраны природы и сохранения природных ресурсов Байкальского региона всегда уделялось достаточно большое внимание в природоохранной деятельности государства. Охрана природы оз. Байкал имела уровень государственной политики и была закреплена основополагающими государственными документами.

В соответствии с Постановлением Совета Министров СССР от 21 января 1969 г. № 52 «О мерах по сохранению и рациональному использованию природных комплексов бассейна озера Байкал» утверждался особый режим природопользования в водоохранной зоне озера Байкал в границах

водосборного бассейна (на территории СССР), вводился запрет на сброс в озеро и его притоки неочищенных хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, запрещался отвод земельных участков под строительство предприятий и других объектов, если их функционирование может привести к нарушению установленного режима охраны природы [Шорников, 1999]. Также постановлением запрещалось строительство новых и расширение действующих предприятий, если они не могут предотвратить загрязнение водной или воздушной среды оз. Байкала и наземных экосистем его котловины [Тулохонов, 2010].

В Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 16.06.1971 № 391 «О дополнительных мерах по обеспечению рационального использования и сохранению природных богатств бассейна озера Байкал» обращалось внимание на неудовлетворительную работу министерств и ведомств, ответственных за экологическое состояние Байкальского региона. Министерствам и ведомствам, имеющим отношение к использованию природных ресурсов Байкальского региона, а также Академии наук СССР предлагалось ускорить разработку проектов организации водоохранной зоны и правил охраны вод Байкала и природных ресурсов, активизировать научно-исследовательские работы [Тулохонов, 2010].

В 1977 г. принято Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему обеспечению рационального использования природных богатств бассейна озера Байкал», в котором требовалось обеспечить к 1985 г. полное прекращение сброса неочищенных сточных вод в водоемы бассейна озера Байкал и максимальное сокращение воздушных выбросов. Благодаря целевому финансированию и строгому контролю были решены многие природоохранные задачи в Байкальском регионе - прекращен молевой сплав древесины, построены новые лесовозные дороги, сооружены многоступенчатые очистные сооружения в г. Улан-Удэ и т.д. [Байкал: природа и люди..., 2009; Тулохонов, 2010]. При всех положительных моментах, эффективность мероприятий оставалась низкой, так как развитие экономики превалировало над природоохранными мероприятиями и главное внимание уделялось не причинам, а следствиям.

В 1987 г. принято Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 434 «О мерах по обеспечению охраны и рационального использования природных ресурсов бассейна озера Байкал в 1987-1995 годах» [Постановление Совета Министров СССР № 434 от 13.04.1987 г.], в разработке которого активное участие принимали ученые. Впервые был сделан акцент на необходимости уменьшения объема пылегазовых выбросов со стороны Иркутско-Черемховского промышленного узла (в настоящее время зона атмосферного влияния БПТ), приведены сроки перепрофилирования Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. Постановлением был определен ряд крупных мероприятий системного характера, например, работы по созданию Генеральной концепции развития производительных сил в бассейне озера Байкал и Территориальной комплексной схемы охраны природы бассейна озера Байкал (ТерКСОП). В 1987 г. организована Межведомственная комиссия по контролю за состоянием природного комплекса бассейна озера Байкал, утверждены «Нормы допустимых воздействий на экологическую систему оз. Байкал на период 1987-1995 г.г. Основные требования» [1987] и т.д.

14 апреля 1990 г. Президиум Совета Министров РСФСР утвердил ТерКСОП бассейна озера Байкал, определявшей главной целью - разработка программы рационального использования природных ресурсов и эколого-градостроительного развития в бассейне озера Байкал, что должно обеспечить неограниченное во времени сохранение и воспроизводство уникальной экосистемы и генофонда Байкала и прилегающей к нему водосборной территории, а также постоянство гидрохимического и гидробиологического состава вод озера. Основными решениями экологических проблем Байкальского региона называлась: 1) восстановление и поддержание качественного состава вод озера Байкал и его притоков на уровне начала 60-х годов; 2) сохранение и восстановление водоформирующих свойств лесов на водосборной территории Байкала; 3) разработка и внедрение экологически безопасных систем природопользования.

ТерКСОП бассейна озера Байкал – полное собрание сведений о природных и социально-экономических условиях Байкальского региона, а

также эколого-экономических моделей. Документ состоял из 69 томов. В ТерКСОП бассейна озера Байкал входил и прогноз изменения состояния экосистемы Байкала, на основе которого были предложены следующие три варианта природоохранной стратегии [Шорников, 1999]:

- «инерционный», основное содержание которого состояло в выполнении положений уже существующих нормативно-правовых документов, среди которых и Генеральная концепция развития производительных сил в бассейне озера Байкал;

- «стабилизационный», предусматривающий проведение дополнительных экономических мер, по большей части, предполагавших введение на предприятиях Байкальского региона передовых технологий производства и очистки;

- «целевой», основанный на экологических приоритетах и предусматривающий подчинение производительных сил задаче сохранения уникальной экосистемы озера Байкала. Согласно прогнозным исследованиям, при незамедлительной реализации данного варианта природоохранной стратегии (кстати, согласно анализу, единственного, обеспечивающего должную охрану озера) к 2005 году должно быть ликвидировано социально-экономическое отставание Байкальского региона, и одновременно снижено антропогенное давление на экологическую систему Байкала.

В силу целого ряда объективных и субъективных причин ситуация вокруг озера Байкал развивалась не по одному из предложенных вариантов, экологическая обстановка в Байкальском регионе продолжала ухудшаться.

В последнее время определенные изменения, происходящие в содержании и способе реализации экологической функции государства, проявляются и в переходе к новому типу государственной экологической политики, и к оценке возможностей правовой охраны озера Байкал.

Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 01.05.1999 г. № 94-ФЗ является основным документом, определяющим правовые основы охраны озера Байкал. В законе устанавливается зонирование БПТ, границы БПТ, основные принципы охраны озера Байкал и особого режима хозяйственной и иной деятельности на БПТ, порядок и формы государственного

регулирования. Данный закон является специальным, первым в стране региональным природоохранным законом, и соответственно имеет особое положение среди федеральных законов, регулирующих отношения в области охраны природы и природопользования, кроме того законом предусматривается принятие целого ряда нормативных документов в целях его исполнения.

Правовые нормы об охране окружающей среды, применяемые в целях сохранения уникальной экосистемы озера Байкал, содержатся и в ряде других федеральных нормативных актах:

- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. №7-ФЗ;
- Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 г. №33-ФЗ;
- Федеральный закон «О животном мире» от 24.04.1995 г. № 52-ФЗ;
- Федеральный закон «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 г. № 174-ФЗ;
- Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г. №89-ФЗ;
- Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ;
- Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» от 27.08.1997 г. № 117-ФЗ.

В настоящее время принято большое количество подзаконных нормативных правовых актов, в частности:

- Приказ Госкомитета РФ по охране окружающей среды от 5 октября 1999 г. № 564 «О первоочередных мерах по реализации Федерального закона «Об охране озера Байкал» (ред. от 03.12.1999);
- Постановление Правительства РФ от 6 сентября 2000 г. № 661 «Об экологическом зонировании Байкальской природной территории и информировании населения о границах Байкальской природной территории, ее экологических зон и об особенностях режима экологических зон»;



- Постановление Правительства РФ от 30 августа 2001 № 643 «Об утверждении перечня видов деятельности, запрещенных в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории»;
- Постановление Правительства РФ от 28 января 2002 г. № 67 «Об особенностях охраны, вылова (добычи) эндемичных видов водных животных и сбора эндемичных видов водных растений озера Байкал»;
- Приказ Госкомрыболовства РФ от 8 мая 2003 г. № 155 «Об утверждении перечня промысловых эндемичных видов водных животных озера Байкал», зарегистрированный Министерством юстиции РФ 5 июня 2003 г. № 4640;
- Распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2006 № 1641-р «О границах Байкальской природной территории»;
- Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 25 апреля 2007 г. № 114 «О Межведомственной комиссии по вопросам охраны озера Байкал», зарегистрированный Министерством юстиции РФ 23 мая 2007 г. № 9532;
- Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 5 марта 2010 г. № 63 «Об утверждении нормативов предельно допустимых воздействий на уникальную экологическую систему озера Байкал и перечня вредных веществ, в том числе веществ, относящихся к категориям особо опасных, высокоопасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы озера Байкал», зарегистрированный Министерством юстиции РФ 7 июня 2010 г. № 17490;
- Распоряжение Правительства РФ от 5 марта 2015 года № 368-р «Об утверждении границ водоохранной и рыбоохранной зон озера Байкал»;
- Постановление Правительства РФ от 1 июля 2016 г. № 626 «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2016 - 2017 годах»;
- Распоряжение Правительства РФ от 26 марта 2018 года № 507-р «О внесении изменений в приложение к распоряжению Правительства РФ от 05.03.2015 № 368-р».

Отдельные законодательные вопросы о Байкале регулируются Земельным кодексом РФ от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ, Лесным кодексом РФ от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ, Водным кодексом РФ от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ. Регулирование отношений собственности на БПТ осуществляется Гражданским кодексом РФ от 30 ноября 1994 года № 51-ФЗ, отношения, формирующиеся в процессе судоходства на озере Байкал регулируются Кодексом внутреннего водного транспорта РФ от 7 марта 2001 г. № 24-ФЗ.

Наиболее значимым шагом в реализации международного и российского права в отношении охраны озера Байкал можно считать Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2006 г. №1641-р, которым, согласно статьи 2 Федерального закона «Об охране озера Байкал», утверждены границы БПТ, ее центральной экологической зоны (ЦЭЗ), буферной экологической зоны и экологической зоны атмосферного влияния, тем самым был запущен механизм реализации остальных статей Федерального закона.

Таким образом, Федеральным законом «Об охране озера Байкал» и рядом подзаконных актов определены принципы и основные положения особого режима хозяйственной и иной деятельности на БПТ (зонирование территории с выделением трех экологических зон с разными режимами охраны и использования природных ресурсов, наиболее сильные ограничения и запреты предусмотрены в ЦЭЗ БПТ). Установлены нормативы предельно допустимых вредных воздействий, а также перечень запрещенных видов деятельности, оказывающих негативное воздействие на экосистему озера Байкал, запрет нового строительства или реконструкции без положительного заключения государственной экологической экспертизы, соблюдение предельно допустимых норм нагрузок на окружающую среду при организации туризма и отдыха в ЦЭЗ БПТ. Утверждены требования к водному режиму озера Байкал, включающие особый режим наполнения и сработки озера, запрет на повышение воды в озере выше максимальных значений и снижения воды в озере ниже минимальных утвержденных значений. Основой для осуществления хозяйственной и иной деятельности на БПТ должны являться комплексные схемы охраны и использования ее природных ресурсов,

разрабатываемые и утверждаемые в порядке, установленном законодательством РФ и законодательством субъектов РФ.

Федеральный закон «Об охране озера Байкал» не определяет статус Байкальской природной территории. Это объект федеральной собственности, совместного ведения РФ, субъектов и муниципальных образований, что сразу лишает методологической обоснованности предложения по формированию средств на реализацию природоохранных мероприятий.

Разграничение полномочий федеральных, региональных и местных органов власти установлено Конституцией РФ, Федеральным законом «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» от 6 октября 1999 г. № 184-ФЗ и Федеральным законом «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» от 6 октября 2003 г. № 131-ФЗ.

К полномочиям органов государственной власти субъекта РФ по предметам совместного ведения, осуществляемым данными органами самостоятельно за счет средств бюджета субъекта РФ, относится решение вопросов организации и осуществления региональных и межмуниципальных программ и проектов в области охраны окружающей среды и экологической безопасности; создания и обеспечения охраны особо охраняемых природных территорий регионального значения; ведения Красной книги субъекта РФ; утверждения схем территориального планирования субъекта РФ; проведения государственной экспертизы в области недропользования общераспространенных полезных ископаемых, или об участках недр местного значения; осуществления государственного экологического контроля на объектах хозяйственной и иной деятельности независимо от форм собственности, за исключением объектов хозяйственной и иной деятельности, подлежащих федеральному государственному экологическому контролю; осуществления государственного регионального контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов, мониторинга водных объектов, резервирования источников питьевого водоснабжения, нормативно-правового регулирования отдельных вопросов в сфере водных отношений, полномочий

собственника водных объектов в пределах, установленных водным законодательством РФ.

На уровне субъектов РФ осуществляется правовое регулирование, ориентированное на охрану уникальной экосистемы озера Байкал и сохранения биоразнообразия БПТ. Региональное законодательство содержит значительное количество нормативных правовых актов, устанавливающих особенности хозяйственной и иных видов деятельности, связанные с обеспечением охраны озера Байкал и его особым статусом. Значительной проблемой является сложность управления БПТ, находящейся на территории трех субъектов РФ - Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края.

Как уже отмечалось, БПТ является единственной в России территорией, где природоохранная и хозяйственная деятельности регулируются специальным Федеральным законом от 01.05.1999 №94-ФЗ «Об охране озера Байкал». Достижение установленной в ст. 5 данного закона сбалансированности решения социально-экономических задач и задач охраны уникальной экологической системы озера Байкал является проблемой, полностью соответствующей приоритетным задачам социально-экономического развития Российской Федерации и соответствует приоритетным направлениям, указанным в «Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р]:

- снижения антропогенной нагрузки и загрязнения водных объектов, улучшения состояния и восстановления водных объектов, в первую очередь источников питьевого водоснабжения, и их экосистем;
- вовлечения в хозяйственный оборот водных ресурсов для решения проблем дефицита пресной воды;
- создания туристско-рекреационных кластеров на территориях с уникальными природными ресурсами и природными ландшафтами, а также богатым историко-культурным наследием.

К сожалению, Федеральный закон «Об охране озера Байкал» не в

полной мере обеспечивает реализацию правовых основ, регламентирующих режим хозяйственной деятельности и природопользования на БПТ. В пределах БПТ находятся Иркутско-Черемховская промышленная зона Иркутской области и основные промышленные районы Республики Бурятия, но законом налагаются серьезные ограничения на развитие промышленности на БПТ, в результате появляется некоторое противоречие между необходимостью охраны окружающей среды участка всемирного природного наследия и необходимостью социально-экономического развития данной территории и обеспечения достойного уровня жизни населения.

Федеральным законом 181-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», принятом в июне 2014 г., внесены изменения в ряд федеральных законов: «Об охране озера Байкал», «Об экологической экспертизе», «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов», Водный кодекс РФ и Градостроительный кодекс РФ. В соответствии с принятыми изменениями, на БПТ запрещено строительство новых хозяйственных объектов и реконструкция действующих без положительного заключения Государственной экологической экспертизы. Практически на всем байкальском побережье ограничиваются большинство видов хозяйственной и экономической деятельности. В ЦЭЗ БПТ практически запрещается открывать новые промышленные производства, а к уже действующим предприятиям предъявляются более строгие природоохранные требования. Запрещено строительство предприятий легкой, пищевой, мукомольно-крупяной, микробиологической, комбикормовой и медицинской промышленности. Исключением являются предприятия по розливу байкальской питьевой воды, переработке дикоросов, фруктов, ягод, овощей, и производству лекарственных растений.

Несмотря на существующие ограничения на строительство новых объектов в непосредственной близости от акватории оз. Байкал, появляются новые дачные некоммерческие товарищества, товарищества собственников жилья и т.п., хотя в соответствии с последними внесениями изменений в федеральные законы «на Байкальской природной территории запрещается строительство новых хозяйственных объектов, реконструкция действующих

хозяйственных объектов без положительного заключения государственной экологической экспертизы проектной документации таких объектов» [Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ, ст. 6].

5 марта 2015 г. Распоряжением Правительства РФ № 368-р утверждены границы водоохранной и рыбоохранной зон озера Байкал. Распоряжение было направлено на минимизацию возможного негативного воздействия, снижения существующих техногенных нагрузок на водный объект, сохранения биологического разнообразия уникальной экологической системы озера Байкал и оптимального использования потенциальных возможностей развития охраняемых территорий подписанным распоряжением водоохранная зона устанавливается по границе центральной экологической зоны озера Байкал [Распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2006 года №1641-р] с учётом прохождения этой границы на особо охраняемых природных территориях по линии водораздела.

Наконец, была разрешена правовая коллизия о водоохранной зоне оз. Байкал, так согласно Водному кодексу РФ, водоохранные зоны озер устанавливаются вне зависимости от их размера или статуса. В кодексе оговаривается три позиции установления водоохранных зон: для всех озер ее размер составляет 50 м, для озер, имеющих важное гидротехническое значение - 200 м, и отдельно для Байкала. Ст. 65 кодекса гласит: «Ширина водоохранной зоны озера Байкал установлена Федеральным законом от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал»». А ст. 2 Федерального закона «Об охране озера Байкал» содержит лишь упоминание о водоохранной зоне озера Байкал без какой-либо конкретизации. До 5 марта 2015 г. озеро Байкал оставалось единственным водным объектом России, не имеющим законодательно определенной водоохранной зоны.

Вместе с тем, утверждение географических координат границ водоохранной зоны, которая оказалась фактически совмещенной с ЦЭЗ БПТ и, соответственно, с Участком Всемирного наследия ЮНЕСКО, наложило дополнительные запреты и ограничения на хозяйственную и иную деятельность ЦЭЗ БПТ, усилившие уже существовавшие социально-

экономические проблемы на этой территории, несмотря на один из основополагающих принципов охраны БПТ - «сбалансированности решения социально-экономических задач и задач охраны уникальной экологической системы озера Байкал на принципах устойчивого развития» [Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ, ст.5].

Распоряжением от 26 марта 2018 года №507-р внесены изменения, скорректировавшие границы водоохраной зоны озера Байкал. На межселенной территории границы водоохранной зоны озера Байкал установлены на основе ландшафтно-гидрологического подхода, предложенного Институтом географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, и направленного на сохранение состояния прибрежных территорий, самоочищающих и стокоформирующих способностей рек и ландшафтов на их водосборах. Метод зонирования прилегающих к озеру территорий позволил установить границы водоохранной зоны озера Байкал по первым по отношению к озеру прибрежным хребтам, водоразделам ручьёв и временных водотоков (включаются бассейны рек первого порядка, непосредственно впадающие в озеро Байкал).

Лесные, болотные и пойменно-долинные ландшафты обеспечивают оптимальные водоохранные свойства прибрежных территорий и формируют основные характеристики поступающих в озеро потоков, и поэтому подлежат особой охране.

Безлесные участки дифференцируются по интенсивности почвенного звена влагооборота и наличию водоохранного геохимического потенциала, при этом учитывается защищённость подземных вод, в том числе зоны аэрации, от вертикального проникновения загрязняющих веществ [Ландшафтное..., 2002].

Для территорий с уклонами менее 3° границы водоохранной зоны были проведены по контуру переувлажнённых почв, болотных систем с учётом их роли в формировании постоянных водотоков. Также были включены затопляемые и подтопленные после поднятия уровня озера Байкал территории. Отдельно рассматривались дельты рек.

В прибрежных населённых пунктах границы водоохранной зоны были установлены в соответствии с прибрежной защитной полосой озера, имеющего особо ценное рыбохозяйственное значение - 200 м.

По мнению Министерства природных ресурсов и экологии РФ, уточнение границ водоохранной зоны озера Байкал позволило скорректировать её площадь в целях обеспечения жизнедеятельности населения и развития туризма, что позволит обеспечить баланс сохранения озера Байкал как объекта Всемирного природного наследия ЮНЕСКО с одновременным обеспечением жизнедеятельности населения и развития туризма на БПТ.

В целом, можно утверждать, что сформирована определенная экологическая политика в отношении охраны озера Байкал и БПТ. Многочисленные постановления директивно ввели новую региональную форму природопользования – особый режим пользования природными ресурсами в бассейне озера Байкал. Федеральный Закон «Об охране озера Байкал» предусматривает особый режим хозяйственной и иной деятельности, осуществляемой в соответствии с принципами [Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ, ст. 5 и ст. 6]:

- приоритета видов деятельности, не приводящих к нарушению уникальной экологической системы оз. Байкал;
- учета комплексности воздействия хозяйственной деятельности;
- сбалансированности решения социально-экономических задач и задач охраны экосистемы оз. Байкал;
- обязательности государственной экологической экспертизы;
- запрещения или ограничения видов деятельности, оказывающих негативное воздействие на экосистему оз. Байкал.

К сожалению, в настоящее время реально запущены лишь механизмы запретительного и ограничительного характера, наименее реализован принцип сбалансированности социально-экономического и экологического развития. Анализ современного состояния исполнения норм законодательного обеспечения охраны и использования природных ресурсов



БПТ выявил отсутствие согласованной политики федеральных, региональных и муниципальных властей.

Федеральное законодательство в рамках законодательного регулирования охраны природы БПТ, в определенной части, отличается некая несогласованность и бессистемность, склонность к созданию специальных административных органов, имеющих сходные полномочия и решающих порой одинаковые задачи. В результате наблюдается ситуация, при которой на одной территории несколько уполномоченных органов решают одни и те же задачи.

Органы местного самоуправления не принимают специальных нормативных актов, направленных непосредственно на охрану озера Байкал и БПТ как уникального природного комплекса. Нормативно-правовое регулирование сводится, в основном, к утверждению локальных нормативных актов общего характера. В существующей системе правового регулирования на муниципальном уровне проявляется недостаток методической помощи со стороны федеральных и региональных органов государственной власти, нескоординированное нормотворчество различных муниципальных образований, отсутствие реальных инструментов воздействия на природопользователей.

Вследствие неконкретного определения полномочий органов государственной власти РФ и субъектов РФ происходят дискуссии о компетенции различных государственных органов, и выделении средств для проведения мероприятий, направленных на сохранение уникальной экосистемы озера Байкал.

Между тем, в последние годы, предпринимаются попытки найти правильный выход из сложившейся ситуации, одним из таких решений явилась Федеральная целевая программа «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012-2020 годы» [Постановление Правительства Российской Федерации от 21 августа 2012 г. № 847], определяющая государственную политику и стратегию развития Байкальского региона. В программу включен ряд организационных и экономических мер, направленных на гармоничное сочетание

экономических интересов региона, сохранение, защиту уникальной экосистемы озера Байкал, снижение антропогенного воздействия на окружающую среду. Целью федеральной целевой программы «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012-2020 годы» является охрана озера Байкал и защита Байкальской природной территории от негативного воздействия антропогенных, техногенных и природных факторов. Для достижения поставленной цели необходимо осуществить научно-обоснованное регулирование хозяйственной и иной деятельности, осуществляемой на БПТ, в том числе в центральной экологической зоне.

Для совершенствования нормативно-правового регулирования охраны уникальной экологической системы озера Байкал и социально-экономического развития территории необходима разработка и утверждение, предусмотренных Федеральным законом «Об охране озера Байкал», комплексных схем охраны и использования ее природных ресурсов, являющихся основой для осуществления хозяйственной и иной деятельности на Байкальской природной территории. Основной целью комплексных схем охраны и использования природных ресурсов является разработка научно обоснованных предложений и рекомендаций по организации использования территории, обеспечивающих устойчивое развитие. Схема должна обеспечивать сбалансированность решения социально-экономических задач и задач охраны уникальной экологической системы озера Байкал, учитывая совпадение границ центральной экологической зоны БПТ с границами объекта всемирного природного наследия ЮНЕСКО «Озеро Байкал» [Владимиров и др., 2016].

Комплексные схемы охраны и использования природных ресурсов не предусмотрены действующим законодательством, Градостроительным кодексом РФ предусмотрено территориальное планирование.

Практикуемая в России система территориального планирования, несмотря на всю комплексность своего содержания, носит ведомственный характер. Само понятие «территориальное планирование» пришло из градостроительства, как «планирование развития территорий, в том числе

для установления функциональных зон, зон планируемого размещения объектов капитального строительства для государственных и муниципальных нужд, зон с особыми условиями развития территории» [Градостроительный кодекс..., 2004]. В исследованиях и разработках Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН [Плюснин, Владимиров, 2013], представления о территориальном планировании включает в себя ландшафтное планирование (ЛП), сочетающее в себе принципы устойчивого развития и базирующееся на территориально дифференцированном подходе выделения районов хозяйственной деятельности с учетом нагрузок и степени влияния при условии сохранения природной среды [Ландшафтное планирование..., 2002; 2005]. Ландшафтное планирование в своей основе опирается на оценку экологического потенциала геосистем и их компонентов с выходом на интегральные цели территориального развития. Предложения по реализации этих целей имеют, в значительной степени, прогностический характер.

Такое толкование предполагает необходимость всестороннего учета экологических факторов, определяющих характер хозяйственной деятельности человека, связанной с использованием экологического потенциала и оказывающей определенное воздействие на природную среду [Владимиров, Плюснин, Богданов, 2015].

Методологическая база ландшафтного планирования возникает из понимания того, что конкретные методы ЛП являются частью, частным вариантом общих принципов решения проектных и оптимизационных задач. ЛП естественным образом интегрируется в общее территориальное планирование для принятия решений на региональном уровне не только в аспекте сходства решаемых задач, но главным образом – методов их решения. ЛП, участвуя в формировании системы территориально планирования и регламентов развития территорий, будет также способствовать совершенствованию системы экономических механизмов охраны окружающей среды и экологизации природопользования, среди которых важное место занимает блок мер, связанных с нормированием

(лимитированием) природопользования и техногенного воздействия на природную среду.

Таким образом, основной целью государственной и региональной экологической политики в настоящее время является создание условий для гармоничного, сбалансированного развития природы, общества и экономики. Особый акцент должен быть сделан на признании приоритетности для общества экологических функций геосистем перед прямым использованием ее ресурсов при соблюдении баланса потребностей общества в экономическом благосостоянии и экологическом благополучии. Для оптимизации природопользования необходимо учитывать экологический потенциал геосистем, что позволит обеспечить учет баланса экологических и экономических интересов общества, создать научные предпосылки для разработки правовых природоохранных норм, экономических расчетов, научного и информационно-аналитического обеспечения охраны окружающей среды и экологической безопасности.

Проведение долгосрочной экологической политики должно осуществляться на основе следующих принципов:

- системность действий для достижения важнейших стратегических ориентиров на локальном, региональном и глобальном уровнях с использованием современной методологии анализа природных рисков и оценки экологического ущерба;

- открытость и обоснованность управленческих решений, доступность экологической информации;

- экологическая ориентированность экономики, обоснованность регулирования экономической деятельности по экологическим основаниям, признание факта значимости экологических функций геосистем для общества.

### **5.3. Экологические риски и экологическая безопасность природопользования в Байкальской Сибири**

Дальнейшее расширение и усложнение природопользования в Байкальской Сибири прежде всего актуализирует проблему экологического риска хозяйственной и иной видов деятельности, оказывающих прямое или косвенное воздействие на природную среду. При увеличении объемов изъятия природных ресурсов, соответственно, увеличивается разнообразие и масштабы антропогенных воздействий на геосистемы и их компоненты, характеризующиеся низкой устойчивостью и замедленными процессами самовосстановления, связанными с относительно суровыми природными условиями. На этом фоне проявляется усиление величины и разнообразия экологических рисков в природопользовании.

Понятие экологического риска в природопользовании в значительной мере связано с возможностью появления негативных последствий для окружающей природной среды и человека в результате непродуманных или недостаточно обоснованных хозяйственных действий. Сюда же относится и вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций природного (наводнения, землетрясения, лавины, оползни, сели и др.) или техногенного характера (промышленные катастрофы, разрушения, пожары, химическое заражение местности и др.).

Снижение экологических рисков является основой экологической безопасности любого региона. Экологические риски природопользования являются всегда потенциальными, так как при реализации становятся фактором, событием, которые в той или иной мере затрагивают интересы человека. Обеспечение экологической безопасности основано на принципе презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной деятельности.

Экологическая безопасность геосистем означает соответствие их параметров условиям безопасного функционирования и развития, а также отсутствие угроз для жизнедеятельности и здоровья человека.

Выделяется несколько основных природных и антропогенных воздействий, оказывающих негативные последствия на геосистемы Байкальской Сибири. В значительной степени функциональные особенности

геосистем и роль отдельных компонентов в них определяют экологические риски природопользования.

За последние десятилетия возросло количество человеческих жертв и материальные ущербы от стихийных бедствий. Землетрясения, наводнения, лесные пожары, обильные снегопады и др. напрямую не зависят от действий человека, но освоение периодически затапливаемых пойм рек, вырубка леса и др., ведущие к изменению альбедо, в результате вызывают термокарст, солифлюкцию, оползни, возникновение оврагов и т.д. [Plyusnin, 2014].

Одна из серьезнейших экологических опасностей в Байкальской Сибири - лесные пожары. Первые пожары в лесах Байкальской Сибири начинаются, в большинстве случаев, в апреле, а в отдельные годы в марте. Пожароопасный период продолжается до середины осени. Пик весенней пожарной опасности по числу пожаров приходится на май, когда происходит активное иссушение почвы и напочвенного покрова под действием ветров, достигающих в этот период наибольшей интенсивности, при минимальной относительной влажности воздуха (около 20%) и небольшом количестве осадков [Макаренко, 2016]. Травяной покров, развивающийся в течение лета, способствует уменьшению количества пожаров и снижению интенсивности уже возникших. Исключения составляют засушливые годы, когда из-за отсутствия осадков и высоких температур чрезвычайная пожарная опасность сохраняется практически в течение всего лета, как, например, в 2015-2019 гг.

Для Байкальской Сибири характерны низовые пожары (практически 90% от количества всех пожаров). Вместе с тем значительные площади повреждаются и верховыми пожарами. Отмечаются подземные (торфяные) пожары. Количество пожаров находится в прямой зависимости от транспортной инфраструктуры и плотности населения. Увеличение протяженности путей сообщения способствует лучшей доступности к таежным массивам, что, с одной стороны, влечет за собой увеличение числа случаев загорания в лесу, с другой стороны, позволяет оперативнее обнаруживать и ликвидировать пожары. С уменьшением плотности

населения количество пожаров закономерно сокращается, а средняя площадь одного пожара увеличивается.

В 2015-2019 гг. произошли самые масштабные пожары, как по количеству, так и по площади сгоревших лесов. В 2015 г. на территории Байкальской Сибири зафиксировано 4354 очага лесных пожаров, пройденная пожарами площадь составила 2143,2 тыс. га [Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области...», 2016; Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия...», 2016; «Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае...», 2016]. Данное стихийное бедствие сложилось вследствие ряда факторов: экстремальные погодные условия (отсутствие осадков и аномальная жара), недостаточная финансовая и материально-техническая обеспеченность для борьбы с пожарами, низкая оперативность обнаружения пожаров и их тушения, труднодоступность очагов пожаров. Немаловажную роль в возникновении разрушительных лесных пожаров сыграл крайне низкий водный уровень бассейна озера Байкал и как следствие этого - ненакопление влаги в почве [Плюснин, 2017]. В результате - ускоренное высыхание напочвенного покрова и увеличение массы сухих горючих материалов в лесу, которые способствовали таким пожарам.

По территории Байкальской Сибири проходит Байкальская рифтовая зона, центральным звеном которой является впадина озера Байкал. Байкальская рифтовая зона обладает высоким сейсмическим потенциалом, что подтверждается здесь следами землетрясений, информацией, сохранившейся в исторических документах, а также данными о сотнях тысяч сейсмических событий, которые зарегистрированы после начала инструментальных наблюдений с 1902 года. По данным Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН с 1950 года в Байкальском регионе отмечено несколько мощных ( $I$  (интенсивность) 9-10 баллов,  $M$  (магнитуда) = 7,0-7,8) и целый ряд сильных землетрясений ( $I$  до 8 баллов,  $M$  до 5,5-6,5). События последнего времени также подтверждают высокий уровень сейсмической опасности территории: Южно-Байкальское землетрясение ( $M$  =

6,0), 25.02.1999; Кичерское ( $M = 5,8$ ), 21.03.1999; Куморское ( $M = 5,8$ ), 16.09.2003; Култукское ( $M = 6,2$ ), 27.08.2008 [Государственный доклад «О состоянии озера Байкал...», 2016]. В год регистрируется более 9 тысяч землетрясений. Большинство эпицентров землетрясений сосредоточено в пределах узкой полосы Байкальского рифта (рисунок 5.1)

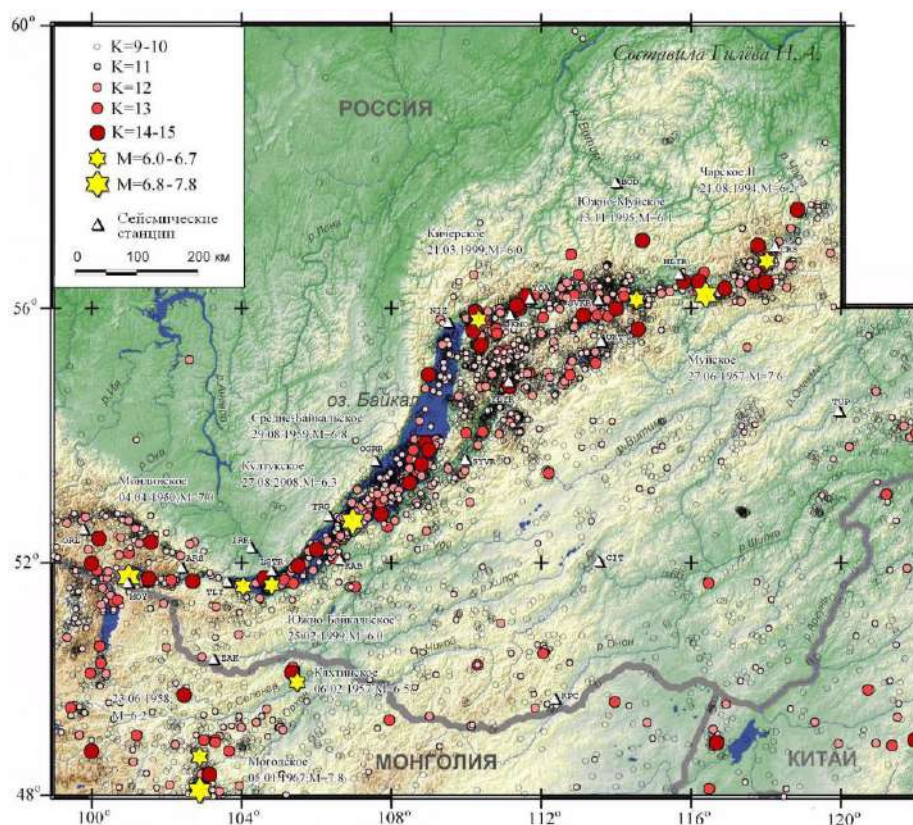


Рисунок 5.1. Карта эпицентров землетрясений в Байкальском регионе.  $K$  – энергетический класс,  $M$  - магнитуда [авт. Н.А. Гилева, <http://seis-bykl.ru>]

Наводнения также являются одним из ведущих природных стихийных бедствий в Байкальской Сибири. Формируются они во время половодья и паводков. В горных территориях - Западном и Восточном Саяне, Хамар-Дабане, Северо-Байкальском, Патомском и Становом нагорьях, Забайкальском среднегорье преобладают максимумы дождевых паводков. На Среднесибирском плоскогорье наибольшие расходы и уровни относятся к фазе весеннего или весенне-летнего половодья. Половодные наводнения происходят в мае и июне, паводочные – в июле, реже в августе. Часто совмещаются половодные и заторные наводнения [Kichigina, 2013]. Количество заторных наводнений и ущерб, причиняемый ими, достаточно



велики, поскольку главные реки текут в субмеридиональном направлении, что, способствует образованию заторов. Особенная подверженность к заторным наводнениям отмечена в бассейнах рек Лены, Нижней Тунгуски.

Основными видами антропогенного воздействия на природную среду, связанными с экологическими рисками, являются загрязнение компонентов геосистем выбросами вредных веществ в атмосферный воздух, сбросами в водные объекты и отходами производства и потребления, изъятие природных ресурсов.

Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха формируется вследствие выбросов промышленных предприятий, котельных, жилого сектора с печным отоплением, влиянием автотранспорта, лесных и торфяных пожаров, а также естественной запыленностью. Основными факторами формирования качества атмосферного воздуха в приземном слое являются объемы выбросов загрязняющих веществ и метеорологические и орографические условия, способствующие их накоплению или рассеиванию.

Среди населенных пунктов Байкальского региона в 9 промышленных городах и 1 поселке с общим числом жителей ~ 1,8 млн. человек уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивается как высокий и очень высокий. Это населенные пункты: г. Братск, г. Зима, г. Улан-Удэ, г. Чита, г. Петровск-Забайкальский, пос. Селенгинск - с очень высоким уровнем; г. Иркутск, г. Усолье-Сибирское, г. Черемхово, г. Шелехов - с высоким уровнем загрязнения воздушного бассейна [Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области...», 2016]. Веществами, определяющими очень высокое и высокое загрязнение атмосферного воздуха в этих населённых пунктах, являются: бенз(а)пирен, взвешенные вещества, диоксид азота, формальдегид; в г. Братске, дополнительно - сероуглерод; в г. Зиме - хлорид водорода; в г. Усолье-Сибирское - оксид углерода, в г. Черемхово - диоксид серы и оксид углерода, в гг. Иркутск и Шелехов - озон.

Байкальская Сибирь обладает огромными запасами воды, сосредоточенными в оз. Байкал, крупных реках, многочисленных озерах и

подземных горизонтах, однако большая часть этих объектов испытывает сильное антропогенное воздействие.

Водную массу озера Байкал и его притоков загрязняют, в основном, сточные воды нефтебаз, рыбозаводов, портов и населенных пунктов. Ко всему прочему, воду озера загрязняют суда речного флота, автотранспорт (при движении по льду озера зимой), многочисленные котельные населенных пунктов и железнодорожных станций с промышленными выбросами, формирующие поток атмосферных выпадений загрязняющих веществ на поверхность озера и площадь водосборного бассейна. Характерными загрязняющими веществами воды являются органические вещества, азот нитритный, фенолы, нефтепродукты [Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области...», 2016].

Кроме того, отмечается динамика роста микробного загрязнения воды озера Байкал вдоль побережья в местах массового отдыха населения, что обусловлено возрастанием антропогенной рекреационной нагрузки. Происходят значительные изменения в структуре и количественных характеристиках мелководных сообществ дна в масштабах всего озера - массовое развитие ранее не свойственных Байкалу зеленых нитчатых водорослей рода *Spirogyra* (глубины 0,5-10 м) и другой нитчатой водоросли – *Stigeoclonium tenue*, поражение (гибель, болезни) эндемичных байкальских губок [Timoshkin et al., 2016]. Одной из причин массового развития зелёных нитчатых водорослей является переизбыток в прибрежной части озера биогенных веществ антропогенного происхождения. Для снижения уровней неблагоприятного воздействия на водные объекты и озеро Байкал необходимо строительство централизованных сетей водоотведения с очистными сооружениями.

Основными водотоками, питающими оз. Байкал, являются реки Селенга, Баргузин, Верхняя Ангара, Тья, Турка, Большая Речка. Основной приток оз. Байкал - р. Селенга. Притоки реки Селенга и крупные водотоки водосборной территории оз. Байкал: Джида, Чикой, Хилок, Уда и др.

Характерные загрязняющие вещества р. Селенга - медь и марганец, трудноокисляемые органические вещества, легкоокисляемые органические вещества, железо общее, цинк, никель, алюминий, фенолы летучие, фториды и азот нитритов [Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия...», 2016].

Бассейн реки Ангары представлен водными объектами: реки Ангара, Иркут, Олха, Кая, Куда, Ушаковка, Белая, Китой, Ока, Хайта, Ида, Ия, Уда, Вихорева, Бирюса, Топорок, водохранилища Иркутское, Братское, Усть-Илимское. Вдоль р. Ангара и образованных на ней водохранилищ сконцентрированы крупные промышленные производства Иркутской области. Основные источники загрязнения воды бассейна р. Ангары - деятельность населения городов, промышленные сточные воды крупных предприятий химической, нефтехимической, гидролизной, лесной и деревообрабатывающей промышленности, цветной металлургии. Приоритетные загрязняющие примеси поверхностных вод - фенолы, нефтепродукты, железо общее, органические вещества, ртуть.

Бассейн р. Лены представлен самой рекой и её основными притоками: Витимом, Киренгой, Кутой, а также Мамаканским водохранилищем. Основными источниками загрязнения воды бассейна р. Лены является деятельность населения городов и поселков, суда речного флота, речные порты, судоверфи, сточные воды нефтехимической промышленности, золотодобывающие предприятия. Основные загрязняющие примеси поверхностных вод - фенолы, нефтепродукты, органические вещества [Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области...», 2016].

Бассейн р. Амур. Река Амур образуется при слиянии рек Ингода и Онон. Западная часть бассейна реки Амур, охватывает водосборы рек Ингоды, Онона, Шилки, Аргуни. Основными источниками загрязнения водных объектов являются сточные воды объектов жилищно-коммунального хозяйства и промышленных предприятий. К характерным загрязняющим веществам относятся трудно- и легкоокисляемые органические вещества,

соединения меди, цинка, марганца, железо общее, фенолы летучие и нефтепродукты.

**Экологический риск и экологические ограничения хозяйственной и иных видов деятельности в ЦЭЗ БПТ.** В связи с обострением в последнее время экологических проблем в Байкальском регионе, таких как падение уровня озера Байкал, огромные площади лесных и торфяных пожаров, истребление охотничье-промысловой и ихтиофауны, неконтролируемое использование побережья в рекреационных целях необходимо провести анализ источников негативного воздействия, факторов ограничивающих хозяйственную деятельность, дать обоснование экологической допустимости хозяйственной деятельности в ЦЭЗ БПТ

Комплексное негативное воздействие на уникальную экологическую систему озера Байкал оказывают индустриальные и хозяйственно-бытовые предприятия, посредством водоотведения и поступления ливневых стоков с промышленных и селитебных территорий (железная и автомобильные дороги, железнодорожные станции, нефтебазы, хранилища нефтепродуктов и АЗС, ТЭЦ, свалки бытовых твердых отходов и др.). Состояние жилищно-коммунального хозяйства на территории ЦЭЗ БПТ характеризуется крайней изношенностью большинства объектов коммунальной инфраструктуры, низкой эффективностью очистки сточных вод. Твердые коммунальные отходы, образующиеся на территории ЦЭЗ размещаются, складировются на санкционированных и несанкционированных свалках, не отвечающих современным правоустанавливающим документам (исключение полигон «Имел-Кутул» в Ольхонском районе, санкционированные свалки г. Слюдянки и г. Байкальска в Слюдянском районе) [Владимиров, Заборцева, 2016].

Объекты энергетики также оказывают негативное влияние на состояние природной среды. Энергетическая инфраструктура представлена источниками энергообеспечения на органическом топливе и электросетевыми объектами.

Существующие источники негативного воздействия в ЦЭЗ БПТ отражены на карте в масштабе 1:500 000 (рисунок 5.2). В том числе показаны очистные сооружения, порты, причалы, объекты инфраструктуры, ЛЭП.

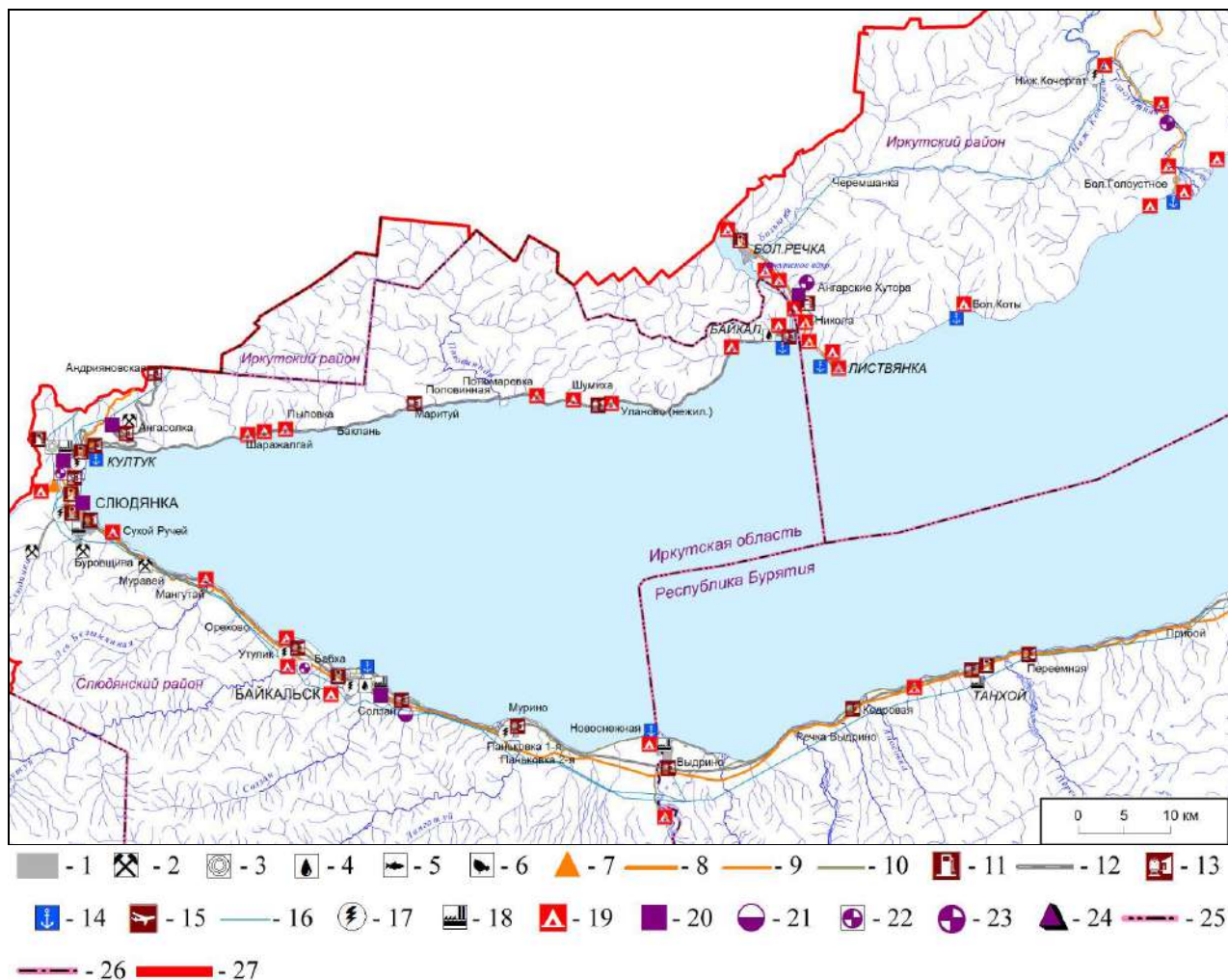


Рисунок 5.2. Фрагмент карты «Источники негативного воздействия в ЦЭЗ БПТ»

1 - Населенные пункты. **Добывающая промышленность:** 2 - добыча полезных ископаемых. **Обрабатывающая промышленность:** 3 - переработка древесины, 4 - предприятия по розливу питьевой воды, 5 - предприятия по переработке рыбы, 6 - птицефабрики. **Сельское хозяйство:** 7 - животноводческие фермы. **Транспорт:** 8 - автодороги федерального значения, 9 - автодороги регионального значения, 10 - прочие автодороги, 11 - автозаправочные станции, 12 - железные дороги, 13 - железнодорожные станции, 14 - порты, пристани и причалы, 15 - аэропорты. **Электроснабжение:** 16 - линии электропередачи, 17 - электростанции. **Теплоснабжение:** 18 - котельные. **Рекреация:** 19 - объекты туристической инфраструктуры. **Санитарная очистка:** 20 - очистные сооружения 21 - отстойники 22 - полигон ТБО 23 - свалки 24 - скотомогильники. **Границы:** 25 - субъектов Российской Федерации, 26 - административных районов, 27 - центральной экологической зоны БПТ

К числу природных факторов экологического риска, ограничивающих хозяйственную деятельность, относятся геоморфологическая опасность и радиационный риск.

Исключительное разнообразие геологического строения и история развития обуславливает весьма сложные инженерно-геологические условия ЦЭЗ БПТ [Владимиров и др., 2011]. В морфоструктурном плане данная территория относится к неотектоническим структурам Байкальского сводового поднятия и самой Байкальской впадины, характеризующемуся наличием крупных и зарождающихся рифтовых впадин. Только в западной части, территориально совпадающей с Байкало-Ленским заповедником, геологические условия отличаются в связи с выходом ее в пределы Сибирской платформы.

Байкальское сводовое поднятие характеризуется большими перепадами абсолютных отметок, разнообразным рельефом и высокой сейсмической (до 9-10 баллов) активностью. Наиболее сейсмоактивными являются глубинные разломы, разделяющие впадины и их горное обрамление. Амплитуды сбросов в северо-восточных бортах впадин достигают 2500 м, наибольшие перепады высот имеют структуры Обручевского сброса и достигают 4000 – 4500 м. Восточные борта впадин в большинстве случаев представлены пологими изгибами кристаллического фундамента, нередко осложненного разрывными нарушениями.

В границах ЦЭЗ БПТ выделяются три крупных впадины – Южная, Средняя и Северная, а также имеющие подчиненное значение – Усть-Селенгинская и Верхнеангарская. По побережью озера выделяется серия более мелких, находящихся в эмбриональном состоянии впадин. Рифтовые впадины заполнены мощным чехлом (до 7000 м) рыхлых слабоуплотненных отложений неоген-четвертичного возраста.

В строении Байкальского сводового поднятия активную роль играют различные по составу и возрасту геологические формации. Наиболее распространёнными являются карбонатные, карбонатно-силикатные и силикатные сильно дислоцированные и метаморфизованные породы архея и протерозоя, а также платформенные обломочные, терригенные и

карбонатные цементированные и измененные отложения, часто смятые в узкие линейные складки северо-восточного простирания. Изверженные породы представлены целой серией интрузивных и эффузивных разновидностей. Среди них по южному и северо-восточному побережьям широко распространены граниты различного состава и структуры [Иметхенов, 2009; Владимиров и др., 2011].

Одновременно петрографическое разнообразие кристаллических пород и, соответственно, широкий диапазон значений прочности (83,6–300 МПа) отличают эти породы высокой несущей способностью [Иметхенов, 2009]. Таким породам присуще снижение прочности при выветривании и при неоднократном замораживании. Ослабляющими факторами являются трещиноватость, зоны дробления, анизотропные свойства горных пород. Одновременно, повышенная категория сложности инженерно-геологических условий определяется низкой прочностью кристаллических пород.

Одним из самых важных показателей инженерно-геологических условий территории является сложность (рисунок 5.3). В монографии «Инженерная геология Прибайкалья» [1968], предложена следующая схема районирования по степени сложности: 1. Районы с весьма сложными условиями; 2. Районы с повышенно сложными условиями; 3. Районы со сложными условиями.

*1. Районы с весьма сложными условиями.* Занимают горные хребты Хамар-Дабан, Баргузинский, Байкальский, Приморский. Ведущими инженерно-геологическими факторами, сильно осложняющими условия строительства, являются рельеф местности, высокая сейсмичность и многолетняя мерзлота, повышенная раздробленность горных пород. Среди процессов особенно активно массовое проявление обвалов, снежных лавин, широкое распространение осыпей, курумов, солифлюкции.

В межгорных впадинах к данным районам относится только район дельты р. Селенги. Здесь процессы осложнены высокими уровнями грунтовых вод, большие площади болотных массивов, при нарушении растительного покрова резкая активизация эоловых процессов и гидродинамические явления в береговой зоне.

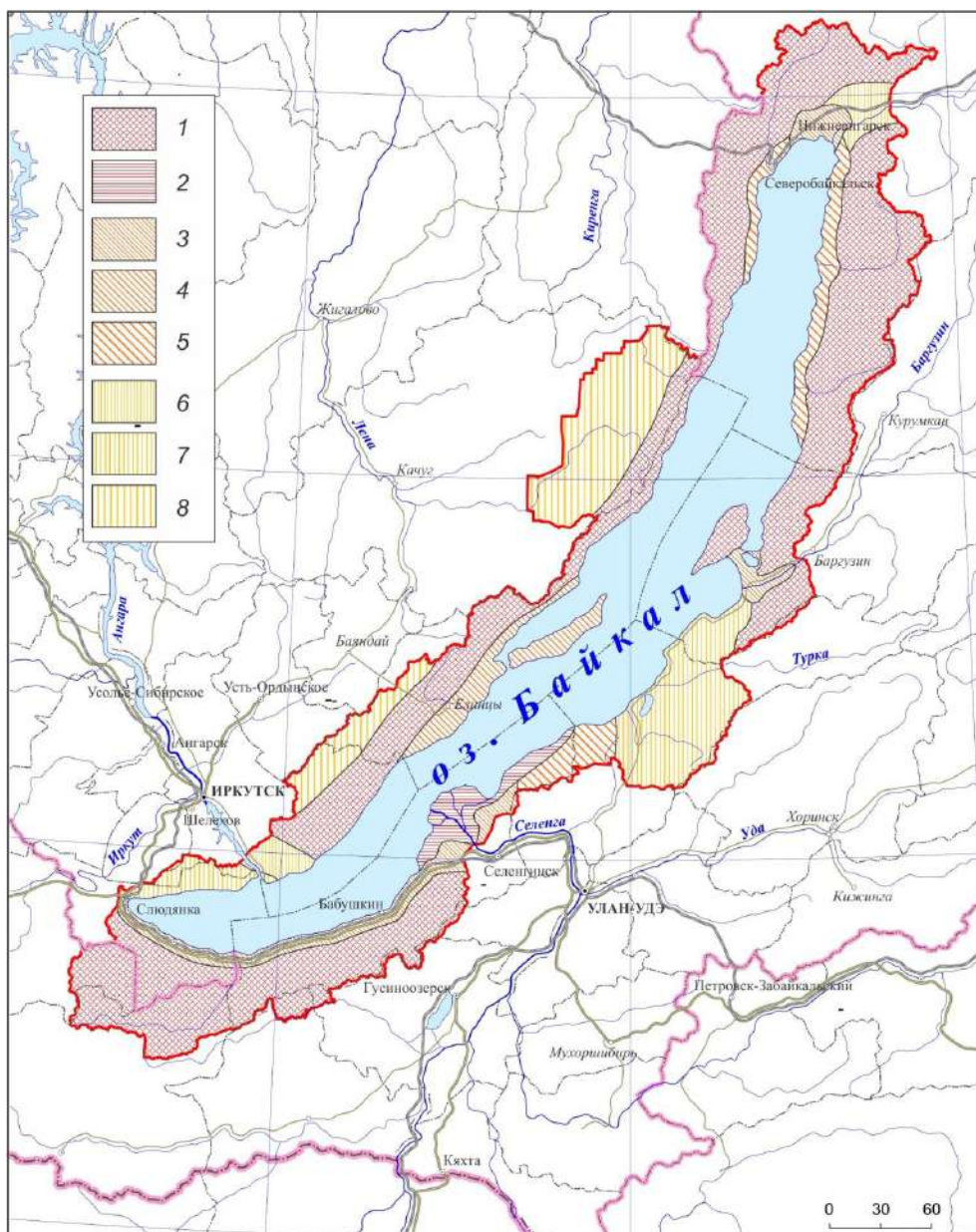


Рисунок 5.3. Схема районирования ЦЭЗ БПТ по сложности инженерно-геологических условий для строительства (Составлена М.Ю. Опекуновой по материалам «Инженерная геология Прибайкалья» [1968])

Районы с весьма сложными условиями: 1 – Саяно-Байкальское сводовое поднятие (высокогорные и низкогорные районы, сложенные преимущественно метаморфическими и изверженными породами), 2 – впадины байкальского типа (аккумулятивные равнины, выполненные толщами грубообломочных и песчаных отложений); районы с повышено сложными условиями: 3 – краевые зоны Байкальского сводового поднятия (низко-, среднегорные районы, сложенные преимущественно метаморфическими и изверженными породами, участками встречаются мощные толщи ледниковых, аллювиальных и озерных отложений), 4 – краевые внутренние поднятия в кайнозойских впадинах (низкогорные, местами всхолмленные районы, развиты метаморфические, изверженные и рыхлые песчано-глинистые, песчано-галечные отложения), 5 – центральные и бортовые части кайнозойских впадин (аккумулятивные равнины выполненные мощной толщей грубообломочных и песчано-галечных отложений, болотные массивы); районы со сложными условиями: 6 – краевая зона Байкальского предгорного прогиба (предгорные и



низкогорные районы, сложенные терригенными и карбонатными породами, участками встречаются мощные толщи ледниковых и аллювиальных отложений), 7 – зоны Байкальского сводового поднятия (преимущественно низкогорные районы, местами с выположенным рельефом, развиты изверженные и метаморфические горные породы), 8 – мезозойские и кайнозойские депрессии (расчлененные предгорные склоны и аккумулятивные равнины, сложенные сцементированными юрскими рыхлыми, местами кристаллическими породами).

*2. Районы с повышенно сложными условиями.* К данным районам относятся низко- и среднегорные части хребта Хамар-Дабан, предгорные зоны Баргузинского и Байкальского хребтов. Горные массивы здесь сложены преимущественно изверженными и метаморфическими сильно раздробленными горными породами. В районе отмечаются крупные острова многолетнемерзлых пород мощностью от первых десятков до 100 м. Среди факторов, осложняющих инженерно-геологические условия выделяются: относительно расчлененный рельеф, высокая сейсмичность, горные обвалы, наледи, заболоченность и интенсивные абразионные процессы.

К этим же районам относится краевое внутривпадинное поднятие Приольхонья и о. Ольхон. Силикатно-карбонатные породы, слагающие данный регион смяты в крутые складки и осложнены густой сетью тектонических трещин. Для района характерна высокая сейсмичность (до 10 баллов), высокие 10-30 м, очень крутые берега. Экзогенные инженерно-геологические факторы, определяющие сложность инженерно-геологических условий - это оползни в неогеновых породах, горные обвалы по крутым обрывистым береговым склонам, древние и современные эоловые процессы, карст.

Данные районы выделяются также на юго-восточном побережье оз. Байкал и на южной оконечности Приморского хребта в районе истока Ангары, в дельте Верхней Ангары, в устьевой части р. Баргузин, перешеек между полуостровом Святой Нос и материковой частью и по бортам Усть-Селенгинской впадины. В рельефе данные территории представлены аккумулятивными, слабо расчлененными равнинами, сложенными рыхлыми озерными, речными и пролювиальными отложениями. В их пределах широко

распространены пойменные, местами низкие надпойменные террасы, озерно-дельтовые равнины. Районы характеризуются сильной заболоченностью, обусловленной затрудненным дренажом, активными тектоническими движениями и деградацией многолетней мерзлоты, но к определяющим факторам сложности инженерно-геологических условий следует все-таки отнести высокую сейсмическую активность.

*3. Районы со сложными условиями.* Занимают юго-восточную окраину Иркутского амфитеатра, краевую зону Предбайкальского передового прогиба и восточные борта Северобайкальской впадины. Терригенные и карбонатные породы нижнего кембрия покрывают приподнятые выступы докембрийского фундамента в виде полосы, распространенной вдоль горных сооружений Западного Прибайкалья. Особенности состава горных пород ленского яруса обуславливают широкое развитие карста. Район входит в область островного распространения многолетней мерзлоты. Мощность криолитозоны колеблется в пределах от 30 до 100 м, поэтому широкое распространение получают термокарстовые явления. Хорошо развита речная сеть с глубиной вреза долин 150 - 350 м, в которых нередко встречаются различного типа (речные, грунтовые, смешанные) наледи.

Таким образом, закономерности формирования инженерно-геологических условий данной территории определяются древним архейским кристаллическим фундаментом, пережившим в последующем разные стадии геологической эволюции, закончившейся орогенным этапом. С запада на восток территории наблюдается преобладание изверженных пород. В этом же направлении происходит смена формаций терригенных, карбонатных, молассовых, метаморфических, красноцветных, эффузионно-осадочных формациями интрузивных и эффузивных пород. Только в отрицательных формах развиты кайнозойские отложения.

В соответствии с составом пород, рельефом и распространением многолетнемерзлотных пород при воздействии климатических условий, в регионе широко развиты современные геологические процессы. Широким

распространением пользуются осыпи, обвалы, оползни, отседания массивов, карст в карбонатных и галогенных породах, курумы, россыпи, сели и просадки на площадках развития лессовидных пород. В зоне распространения мерзлоты развиты: солюфлюкция, морозное выветривание, курумы и наледи.

Байкальская природная территория относится к числу экологических областей России с неблагоприятной радиационной обстановкой. Фактически вся ЦЭЗ БПТ, по совокупности или по одному фактору относится к территориям с потенциально опасной (зона кризисного состояния), опасной (зона чрезвычайной экологической ситуации) и особо опасной (зона экологического бедствия) радиационной обстановкой. Радиоэкологически неблагоприятные районы охватывают горное обрамление оз. Байкал, как правило слабонаселенные, но в значительной своей части отнесенные к категории рекреационных территорий – национальный парк, заповедник. Опасная и особо опасная радиоэкологическая обстановка по гамма-излучению горных пород имеет место только на локальных участках, в том числе на рудопроявлениях урана и некоторых зонах аномальной радиоактивности.

На основе анализа информации о природных факторах, ограничивающих хозяйственную деятельность (высокая геоморфологическая опасность, опасные и особо опасные территории по совокупности факторов радиационного риска) и с учетом категорий земель составлена карта экологической допустимости хозяйственной деятельности в ЦЭЗ БПТ (рисунок 5.4).

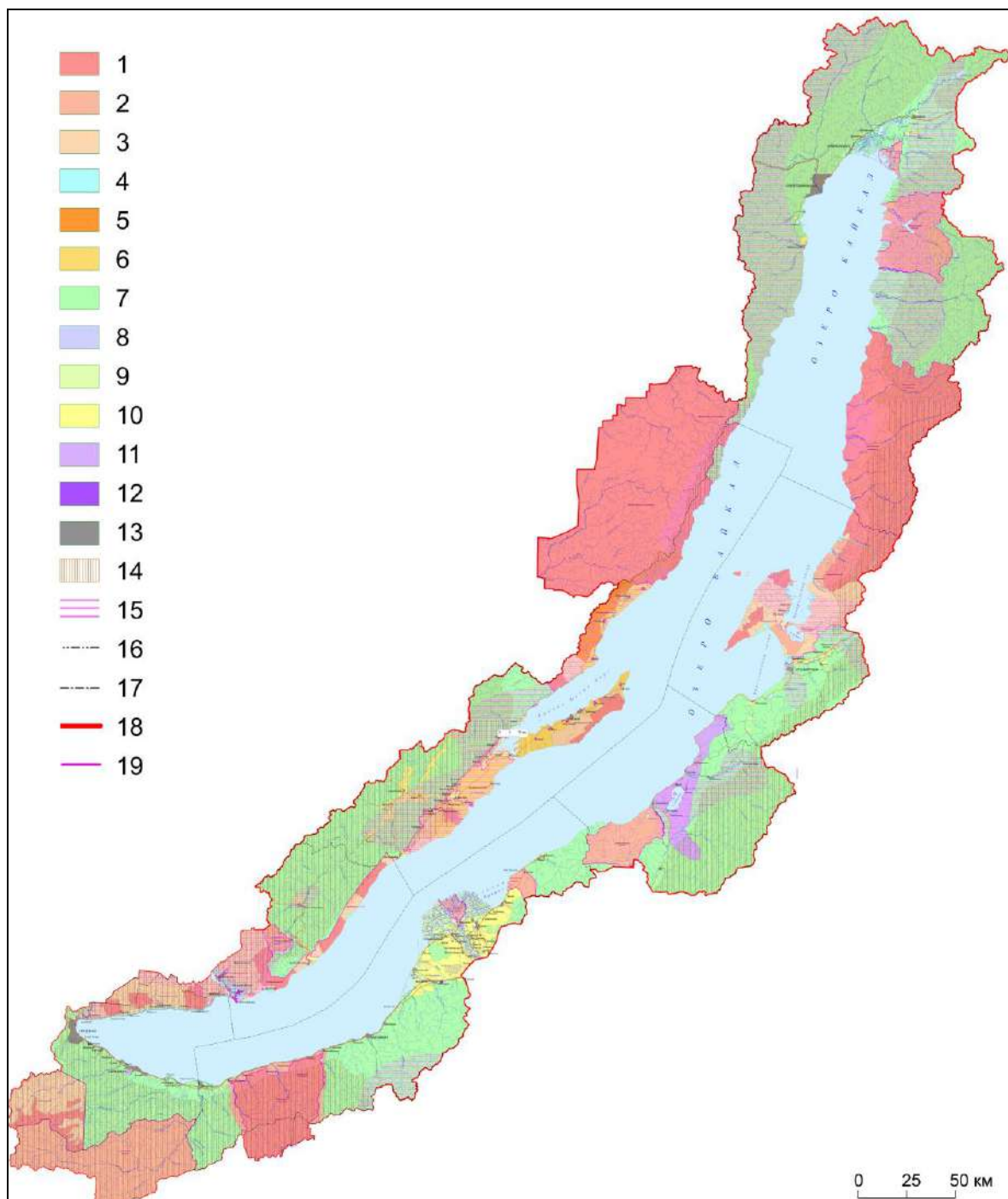


Рисунок 5.4. Экологическая допустимость хозяйственной деятельности в ЦЭЗ БПТ

**Категории земель.** *Земли особо охраняемых природный территорий федерального и регионального значения:* 1 - Зоны заповедного режима; 2- Зоны заказного режима; 3 - Зоны рекреации и познавательного туризма; 4 - Зоны обслуживания посетителей; 5 - Зоны традиционного экстенсивного природопользования; 6 - Зоны хозяйственного использования; 7- *Земли лесного фонда;* 8 - *Земли водного фонда;* 9 - *Земли государственного запаса;* 10 - *Земли сельскохозяйственного назначения;* 11- *Земли особых экономических зон туристско-рекреационного типа;* 12 - *Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения;* 13 - *Земли населенных пунктов.*

**Природные факторы, ограничивающие хозяйственную деятельность.** 14 - Районы с

высокой геоморфологической опасностью; 15 - Опасные и особо опасные территории по совокупности факторов радиационного риска. **Границы.** 16 - субъектов Российской Федерации; 17 - административных районов; 18 - центральной экологической зоны БПТ; 19 - особо охраняемых природных территорий федерального и регионального значения

Таким образом, проведенный анализ позволяет оценить в пространственном аспекте остроту экологической ситуации в Байкальской Сибири и конкретно в Прибайкалье. Эта оценка охватывает изменения окружающей природной среды, которые вызывают ухудшение нормальных условий жизнедеятельности и здоровья людей, истощение или утрату природных ресурсов, снижение или утрату средо- и ресурсоформирующих свойств геосистем, и, соответственно, их экологического потенциала.

Основным индикатором отображения последствий риска является изменение геоэкологической ситуации, факторами ухудшения которой являются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, сбросы сточных вод, образование отходов. По уровню данных показателей доминирует более урбанизированная территория Иркутской области, где по состоянию за 2014 г. образовалось 88,6% учтенных отходов, 76,9% сбросов и 57,6% суммарных выбросов [Владимиров, Заборцева, 2016]. Всего от стационарных источников промышленных предприятий Южно-Байкальского и Северо-Байкальского промышленных узлов, входящих в ЦЭЗ БПТ, в 2015 году в атмосферный воздух поступило 4,9 тыс. т загрязняющих веществ (в 2014 г. – 5,2 тыс. т). Суммарный сброс сточных вод составил 3,66 млн м<sup>3</sup> (в 2014 г. – 3,9 млн м<sup>3</sup>). Образовалось 3406,4 тыс. т отходов (в 2014 г. - 1041, 1 тыс. т). Выявлено, что основными источниками поступления загрязнений в ЦЭЗ БПТ являются МП дирекция по тепловодоснабжению «Северобайкальская», МУП «Канализационные очистные сооружения Байкальского МО», ООО «Слюдянское коммунальное управление» и ООО «Акватранс» г. Слюдянка.

В целях минимизации негативного воздействия на экосистему оз. Байкал необходимо строительство систем водоотведения и очистных сооружений в крупных населённых пунктах, где они отсутствуют. Требуется реконструкция и расширение системы водоотведения и очистки сточных вод. В зонах

рекреации организованного и неорганизованного туризма в средней котловине оз. Байкал требуется строительство и введение в эксплуатацию очистных сооружений, а также соблюдение хозяйствующими субъектами экологических нормативов допустимых воздействий, использование экологически чистых технологий удаления и утилизации сточных вод.

Для снижения антропогенных рисков от продуцируемых потребительских отходов необходимо ускорить разработку современной логистической схемы по обращению с отходами на территории ЦЭЗ БПТ, с учетом потребительских отходов, образующихся на акватории оз. Байкал (флот, маломерные суда).

Естественными природными факторами риска в пределах ЦЭЗ БПТ являются землетрясения, оползни, сход селевых потоков и наводнения, вызванные ливневыми осадками, ураганы, лесные пожары, способные в случае своего проявления привести к резкому ухудшению геоэкологической ситуации. Для минимизации возможности их проявления организационно-технологическими мероприятиями должно быть предусмотрено определение мест активного проявления опасных геолого-геоморфологических процессов с целью исключения проведения в их пределах хозяйственной деятельности. В рекреационных зонах целесообразен выбор безопасных участков для застройки и проектирования трасс туристических маршрутов с возможным строительством сооружений для защиты транспортных и инженерных коммуникаций. Особое внимание вдоль транспортных объектов должно быть уделено выполнению противоэрозионных мероприятий, а в районах активного развития водной эрозии – соблюдению гидротехнических рекомендаций.

**Оценка заболевания птичьим гриппом в Предбайкалье на основе ландшафтно-интерпретационного картографирования.** Современный этап развития прогнозного и рекомендательного картографирования связан с совершенствованием геоинформационных технологий и методов, позволяющих объективизировать процесс картосоставления, повысить

точность и достоверность карт путем разработки алгоритмов для автоматизированной, оперативной и объективной обработки дистанционной и наземной информации.

С идеей прогнозного картографирования тесно связана методология ландшафтно-интерпретационного картографирования – перевода ландшафтной карты в карты произвольного тематического содержания, например, для оценки и прогнозирования опасности распространения эпизоотий и эпидемий в регионе [Ландшафтно-интерпретационное..., 2005].

Сложные природные механизмы, зависящие от характера геосистем определяют заболеваемость многими инфекционными и паразитарными болезнями, которые вызываются живыми возбудителями. «Природный очаг болезни существует в условиях определенного климата, определенной растительности, почвы и благоприятного микроклимата тех мест, в которых обитают переносчики, доноры и реципиенты возбудителя, другими словами, природный очаг болезни свойственен определенному ландшафту...» [Павловский, 1964, с. 11].

Рассмотрим вопрос прогнозирования распространения заболевания с использованием методов ландшафтно-интерпретационного картографирования на примере высокопатогенного «птичьего гриппа». Переносчиками вирусов гриппа являются различные виды птиц, на которых вирусы циркулируют по всему миру, но доля высокопатогенных вирусов незначительна, причем, как правило, вирусы не являются патогенными для видов, из которых они выделены. Наиболее распространены и имеют большое эпизоотологическое и эпидемиологическое значение вирусы гриппа типа А субтипов H5N1 и H7N9.

Высокопатогенный «птичий грипп» (*avian influenza, bird flu*) H5N1-подтип вируса гриппа А, острая высококонтагиозная вирусная инфекция, характеризующаяся поражением органов дыхания и пищеварения, высокой смертностью человека и домашних птиц. Всемирная организация здравоохранения считает, что высокопатогенный «птичий грипп» H5N1,

H7N9 может перерасти во всемирную пандемию, если вирус подвергнется рекомбинации генов с вирусом гриппа человека, то есть приобретёт новые свойства (способность передаваться от человека к человеку и др.) [WHO..., 2014].

Методической основой геоинформационных исследований по птичьему гриппу являются принципы сравнительного географического и экологического анализа, прежде всего концепции медицинской географии и медико-географического картографирования, дополненные современными идеями и технологиями геоинформатики по синтезу пространственных данных для моделирования географических систем [Владимиров, Мясникова, Черкашин, 2008].

Синтез данных и знаний в медико-географическом аспекте предлагается проводить на физико-географической, ландшафтной основе [Игнатъев, 1962; Конева, 1992], принципах ландшафтной эпидемиологии [Meade, Earickson, 2005], предполагающих использование методов ландшафтно-интерпретационного картографирования [Ландшафтно-интерпретационное..., 2005] – научного подхода, основанного на переводе ландшафтной картографической информации в карты специального тематического содержания. Ландшафтная карта рассматривается как модель информационного поля деятельности человека и источник информации для прогнозно-аналитических моделей изучаемых процессов. Дополнительная информация, «преломляясь» через ландшафтную карту по текущему запросу (модели), автоматически переводит ее в карту нового типа подобно тому, как содержание нормативно-правовых документов и сведения об использовании земель превращаются в карты правового зонирования [Геоинформационная..., 2002].

На территории Предбайкалья (Иркутской области) преобладает среднегорный рельеф, равнинные пространства невелики, низменности занимают небольшую площадь. Распространены межгорные котловины, существенно влияющие на перераспределение тепла и влаги,



гидрологический режим, разнообразие природных комплексов. Речная сеть Предбайкалья густая, основные реки – Ангара и Лена. Ангара зарегулирована водохранилищами Иркутской, Братской и Усть-Илимской ГЭС (Рисунок 5.5).

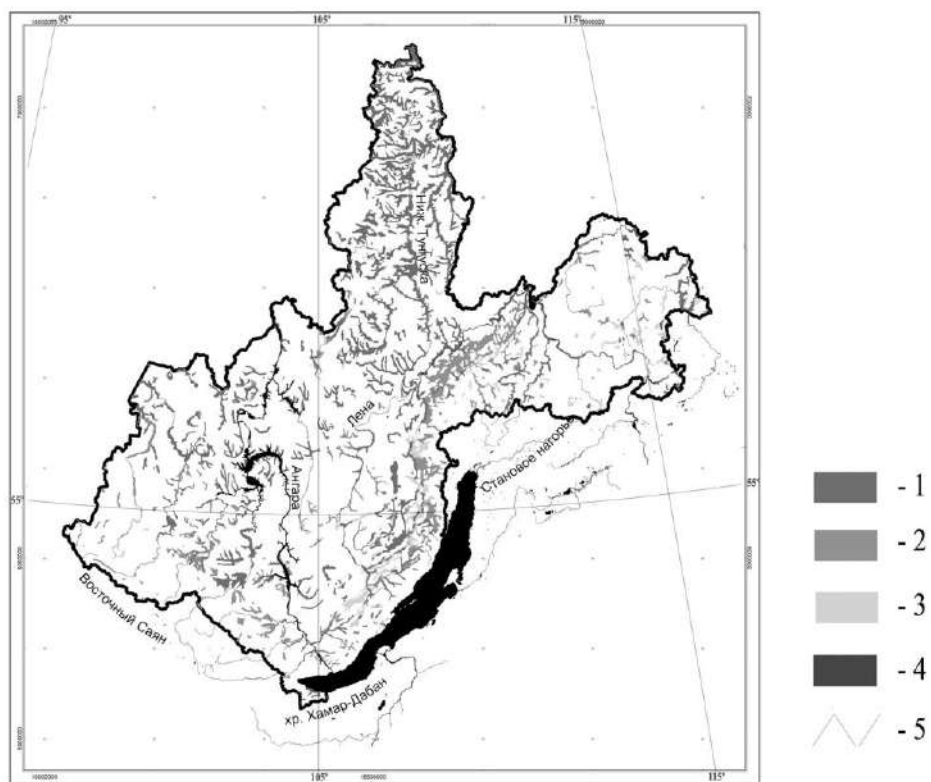


Рисунок 5.5. Ландшафты гидроморфного ряда и гидрографическая сеть Предбайкалья (группы фаций гидроморфного ряда: 1 – серийные, 2 – мнимокоренные, 3 - коренные; 4 – озера, водохранилища, 5 - реки.)

Озерно-болотные комплексы неравномерно распределены по территории. На Среднесибирском плоскогорье в границах региона находится небольшое количество озер, мелкие водоемы встречаются преимущественно в верховьях долин правых притоков р. Лена и немного в долине р. Ангары. Наиболее многочисленны озера в котловинах байкальского типа и в высокогорном поясе Саяно-Байкальского станового нагорья. Болота в Предбайкалье приурочены к отрицательным элементам рельефа. Распространение мерзлоты и холодный климат определяет особенности болот: малая мощность торфяного горизонта (не более 2 м), частая минерализация почв, мозаичность растительного покрова. В долинах рек и

понижениях распространены осоковые и моховые болота, на более дренированных участках они сменяются ерниками.

Для выделения озерно-болотных, озерных и речных комплексов использовалась цифровая карта геосистем на территорию Иркутской области. Особо выделены классы гидроморфных фаций (см. рисунок 5.5), представляющие геосистемы, видоизмененные фактором избыточного увлажнения.

В Иркутской области гнездится около 200 видов птиц. Здесь в долине р. Ангары расположено 7 крупных птицефабрик.

К факторам, влияющим на степень риска, традиционно относятся природные факторы (характеристики рельефа, климата, почвы, водного режима, флоры и фауны), социально-экономические факторы (численность и состав населения, показатели состояния экономики, населенных пунктов, транспортных путей и т.д.) и медико-санитарные особенности (заболеваемость населения, состояние здравоохранения, развитие сети медицинских учреждений и др.) конкретных территорий. Для анализа ситуации по птичьему гриппу особое значение приобретает информация о направлениях и интенсивности миграции птиц, местах их остановок и гнездования.

*Географические факторы*, влияющие на распространение гриппа птиц, включают особенности местоположения участков, пространственные связи с другими территориями, специфику местного взаимодействия природы, хозяйства и населения. Дальние внешние связи реализуются за счет миграции птиц и работы транспортной инфраструктуры. В Иркутской области представлена Восточносибирская территориальная группировка водоплавающих птиц, зимующих на территории от Северо-Восточной Индии до стран Юго-Восточной Азии и прилетающие через Китай. В Китае и Юго-Восточной Азии находится постоянно действующий очаг гриппа птиц, и, вероятнее всего, могут появиться новые пандемические штаммы вируса. Миграционные пути в целом стабильные, но наблюдается их

индивидуальная, возрастная, половая и популяционная изменчивость, определяющая территориальную дисперсию птиц. Начало перелета приходится на конец марта на юге и конец апреля на севере территории, массовый перелет происходит в апреле-мае до середины июня [Кузнецов, 2005]. Основное население водоплавающих птиц сосредоточено в Прибайкалье и Забайкалье, в частности, в районе дельты р. Селенги [Экологически..., 2002].

*Экологические факторы* определяют условия существования как самого возбудителя болезни, так и условия жизни переносчика вируса, а также условия заражения людей и развития болезни. Важнейшей в эпидемиологическом отношении экологической особенностью вирусов является их существование, размножение и миграция в организме птиц, что обеспечивает образование очагов болезни и занос возбудителей из других стран и распространение их внутри региона [Владимиров, Мясникова, Черкашин, 2008]. По наблюдениям последних лет достоверно отмечается увеличение патогенности вируса и его устойчивости, расширение круга носителей [WHO..., 2014].

Птицы-разносчики вируса обладают синантропическим поведением, т.е. имеют постоянный и надежный контакт с человеком и домашними животными. Распространению болезни способствует околородный и зимовочный факторы [Кузнецов, 2005]. Первый связан с обитанием или периодическим посещением птицами водоемов, второй – проявляется в способности зимующих птиц собираться в большие скопления на южно-азиатских зимовках, неблагоприятных в медицинском отношении. Так в местах скопления перед началом миграции могут оказаться инфицированными до 60% молодых птиц [Владимиров, Мясникова, Черкашин, 2008]. После начала миграции степень выделения вируса значительно падает. Передача вирусов легко происходит за счёт их выделения в больших количествах в помёте, что приводит к заражению воды озёр или прудов.

Возможно попадание вируса на птицефермы, отстоящие от водоемов, через диких птиц, живущих рядом с человеком: голуби, вороны, сороки, галки, воробьи. Предполагается, что сначала дикими птицами или домашними утками и гусями в популяции кур заносится вирус низкой патогенности, где он, циркулируя в течение нескольких месяцев, может видоизменяться в патогенную форму. Дальнейшее распространение эпизоотий на домашней птице происходит с помощью инфицированных диких птиц, а чаще по рыночным каналам при перемещении больной живой домашней птицы или продуктов ее переработки [Владимиров, Мясникова, Черкашин, 2008].

Хорошо выражены два пика заболеваний в популяциях домашней птицы – в феврале и в августе – сентябре, что явно связано со сроками концентрации и перемещений зимующих птиц и заносом возбудителя в птицеводческие хозяйства.

Опасность возникновения эпизоотии в хозяйствах зависит от многих социально-экономических факторов производства: условий содержания птицы, качества ветеринарного обслуживания, соблюдения карантинного режима, опыта персонала и его ответственности.

В итоге оценка риска появления эпизоотии и эпидемии гриппа птиц становится довольно сложной задачей - эта оценка определяется множеством факторов: погодные условия, пути пролета и обилие диких птиц, наличие рек и озер, плотность населения, численность домашней птицы, уровень ветеринарно-санитарной защиты птицефабрик и т.д. Для учета всех факторов необходимы адекватные расчетные схемы - уравнения, отражающие влияние условий на величину ожидаемых рисков [Владимиров и др., 2008].

Геоинформационное картографирование ситуации должно дифференцировать территорию по степени опасности возникновения гриппа птиц, выраженную в баллах, процентах или относительных единицах (частота, вероятность). Для этого необходим набор медико-географической

информации, комплексированный в характеристики риска с помощью математической модели, реализующей идею карты.

Рассмотрим простейшую модель эпидемии [Бейли, 1970], в которой описывается взаимодействие восприимчивых индивидуумов  $x$  с источниками инфекции  $y$  (плотность популяции, шт/км<sup>2</sup>). С этими переменными связано число новых случаев заболевания (эпидемическая кривая):

$$-\frac{dx}{dt} = \beta xy \quad (5.1),$$

где  $\beta$  - частота контактов групп  $x$  и  $y$ .

Интенсивность процесса заражения определяется как числом источников заражения (при  $y=0$  эпидемии не будет), так и численностью здорового населения  $x$ . Причем необходимо учесть, что часть населения  $x_0$  может оказаться невосприимчивой к инфекции, например, в результате вакцинации, поэтому формулу (5.1) правильной записать в виде:

$$\frac{dx}{dt} = -\beta(x - x_0)y \quad (5.2).$$

Под  $x$  будем понимать плотность здорового населения, а  $y$  – плотность популяции носителей вируса гриппа на разных стадиях инфекционного процесса: 1) дикие птицы; 2) домашние утки и гуси; 3) домашние куры; 4) больное население ( $y_i, i=1, \dots, 4$ ). Все население разобьем на группы  $x_i$  в зависимости от такого, с каким источником заражения  $y_i$  они контактируют, тогда:

$$\frac{dx_i}{dt} = -\beta_i(x_i - x_{0i})y_i \quad (5.3).$$

Понятно, что значения  $y_i$  так или иначе связано с численностью населения  $y_i=f_i(x)$  положительной или отрицательной зависимостью. Например, очевидно плотность заболевших людей равна  $y_4 = N_4 - x$ , где  $N_4$  – общая плотность населения. По аналогии в линейном приближении можно принять  $y_i = \alpha_i(x_i - N_i)$ , где  $\alpha_i$  – чувствительность изменения  $y_i$  при изменении  $x_i$  на единицу, например,  $\alpha_4 = 1$  (для населения). Для дикой и домашней птицы  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 > 0$ . В итоге получаем  $\frac{dx_i}{dt} = -\alpha_i \beta_i (x_i - x_{0i})(N_i - x_i)$ .

Коэффициенты  $\alpha_i, \beta_i, N_i$  имеют экономико-географическое содержание и зависят от специализации и организации хозяйства. Кроме того, в них заложены природные условия, например,  $\alpha_1 N_1$  – это плотность популяции диких птиц в естественной среде (без влияния человека,  $x_i=0$ ). Иными словами, предполагается, что вероятность заражения от диких и домашних птиц тем выше, чем в большей степени отклоняется ситуация от условий городского типа ( $N_i \rightarrow x_i \rightarrow 0$ ).

В силу однотипности уравнений (5.3) опасность развития эпидемиологической ситуации по каждому направлению напрямую зависит от величины произведения

$$f_i = \alpha_i \beta_i \chi_i N_4, \chi_i = 1 - x_{0i} / N_4, \quad (5.4)$$

где  $\chi_i$  – доля людей, восприимчивых к инфекции, которое необходимо рассчитать и реализовать в процедурах геоинформационного картографирования.

В расчетах значения  $\beta_i$  следует учесть влияние географических и экологических факторов, в частности, режимы теплообеспечения и увлажнения территории. Температурный фактор воздействует на активность вируса, т.е. возможность  $\beta_i$  заражения. Например, результаты серологических обследований населения по клещевому энцефалиту [Бусыгин, 1981] показали зависимость доли  $V$  (%) иммунной прослойки в возрастных группах ( $\tau$ , годы) от положения ландшафтов в структуре широтной ( $m_1$ ) и высотной ( $m_2$ ) пояности. Связь аппроксимируется линейной зависимостью:  $V = 0.69\tau + 18.48m_1 + 23.16m_2 + 14.33, r = 0.88$  - реакция возрастает с возрастом и при переходе от лесостепи ( $m_1=0$ ) к тайге ( $m_1=1$ ) и от равнинной ( $m_2=0$ ) к горной территории ( $m_2=1$ ). По аналогии рассчитаем значение  $\beta_i$  как функцию стадии  $i$  эпидемического процесса, широты  $m_1$  (град) и высоты  $m_2$  (м) местности:

$$\beta_i = a_0(i - i_0) + a_1(m_1 - m_{10}) + a_2(m_2 - m_{20}) + b, \quad (5.5)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  - коэффициенты чувствительности;  $b$  – поправочный коэффициент, принимающий во внимание влияние неучтенных факторов

среды;  $i_0, m_{10}, m_{20}$  - базовые значения, принимающий во внимание особенности географической среды региона (минимальные значения переменных, в частности,  $i_0=1$ ).

При расчетах коэффициентов необходимо исходить из температурного интервала (от 4 до 20°C), когда наблюдается примерно линейный рост активности вируса от 0 до максимального значения  $\beta_4 = 0,15$  (для равнинной территории  $m_{10} = 250$  м над у.м. на юге Иркутской области  $m_{20} = 52^\circ$  с.ш. при температуре 20°C на последней стадии эпидемического процесса  $i=4$ ). Для первой стадии (дикие птицы) частота контакта  $\beta_1 = 0,05$ . Температурный градиент  $a = (0,15 - 0,05)/(20 - 4) = 0,00625$ . Тогда из (5.5) следует  $b = \beta_1 = 0,05$ ,  $\beta_4 = 3a_0 + b$ ,  $a_0 = 0,033$ . Так как температура изменяется примерно на 1°C на 1° широты и 100 м высоты, то  $T = m_1 / 100$  м и  $T = m_2 / 1^\circ$ . Отсюда и из (5.5) при  $i=1$  получим  $\beta_1 - 0,05 = 100a_1(T - 2,5) + a_2(T - 52)$ . Перед скобками стоят коэффициенты, равные по абсолютной величине температурному градиенту, отсюда  $a_1 = -a/100 = -0,625 \cdot 10^{-4}$ ,  $a_2 = -a = -0,625 \cdot 10^{-2}$ . Итоговое уравнение для расчетов:

$$\beta_i = 0,033(i - 1) - 0,625 \cdot 10^{-4}(m_1 - 250) - 0,625 \cdot 10^{-2}(m_2 - 52) + 0,05 . \quad (5.6)$$

Эти расчеты проведены для летних месяцев. Понятно, что температурные коэффициенты варьируют по сезонам, что определяет изменение рисков заболеваний и может быть уточнено по метеоданным. Если принять за оптимум температуры распространения вируса 30°C (половина от температуры гибели вируса 60°C), то поправочный температурный коэффициент можно рассчитать следующим образом:

$$\theta = T/30 \quad (T < 30^\circ\text{C}) \quad \text{или} \quad \theta = (60 - T)/30 \quad (T \geq 30^\circ\text{C}) \quad (5.7).$$

По уравнению (5.6) можно определить некоторые предельные показатели, например, на широте г. Иркутска вероятность заражения вирусом гриппа от диких птиц минимальна в ландшафтах на высоте 1000 м над у.м., что соответствует расположению предгорий Приморского хребта. На уровне моря ( $m_1=0$ ) предельная широта 63° с.ш. лежит за пределами

рассматриваемого региона ближе к полярному кругу. Зона заражения для домашних кур продвигается до  $73^\circ$  с.ш. до северных границ Азиатского материка. На равнинах экваториальной зоны степень опасности заражения будет максимальной  $\beta_4 = 0,49$  – с этой величиной удобно сравнивать оценки для других регионов, приняв ее за условную единицу. Тогда уравнение (5.6) переписывается так

$$\beta_{0i} = 0.067(i-1) - 1.276 \cdot 10^{-4}(m_1 - 250) - 1.276 \cdot 10^{-2}(m_2 - 52) + 0.102.$$

Эта величина  $\beta_{0i}$  изменяется от 0 до 1.

Реальный коэффициент  $\beta_i$  модели (5.1)-(5.3) зависит от характерного времени  $\Delta\tau_i$  развития заболевания:  $\beta_i = \beta_{0i} / \Delta\tau_i$ . Болезнь человека протекает в течении 3-5 дней ( $\Delta\tau_i = 4$  дня), то для локальной популяции она занимает недели, а в глобальном масштабе продолжится многие месяцы. По этой причине необходимо учитывать масштаб явления  $\eta = \ln(N/N_0)$  и скорость распространения инфекции по территории  $v$ . Эти показатели рассчитываются по характерным временам и масштабам эпидемического процесса на каждом уровне.

Принимается во внимание также наличие  $\gamma$  природных источников заражения, например, вдоль маршрутов пролета диких птиц и вокруг мест их гнездования. Зависимость  $\gamma(l)$  от расстояния  $l$  до центральной зоны ( $l=0$ ) определяется закономерностью «рассеивания» птиц, которое в приложениях описывается нормированной кривой Гаусса  $\gamma(l) = \exp(-l^2/2\sigma^2)$ , где  $\sigma^2$  – дисперсия рассеивания птиц, значение которой рассчитывается из соотношения  $3\sigma = l_m$  - предельное расстояние отклонения от центра рассеивания. Согласно эпидемиологическим требованиям выделены три зоны рассеивания:  $l < 5$  км,  $5 \leq l < 15$  км,  $15 \leq l < 30$  км ( $l_m = 30$  км). Эти значения могут уточняться в соответствии с орнитологическими данными.

От наличия озерно-болотных комплексов напрямую зависит число останавливающихся и гнездящихся водоплавающих птиц, а, значит, и вероятность их контакта с населением. По степени гидроморфности фации



делятся на четыре категории  $j$ : 0) серийные гидроморфные фации, а также участки по побережьям оз. Байкал, крупных рек, озер и водохранилищ шириной, предусмотренной водоохранным кодексом; 1) мнимокоренные и 2) коренные гидроморфные фации; 3) прочие группы фаций. Поправочный коэффициент  $\mu(j)$  рассчитывается по той же методике, что и для зон пролета так, что ландшафты 3-й категории считаются наименее опасными.

Необходимо учесть также влияние некоторых управляющих и случайных факторов  $u$ , содержание которых в отражении результатов проведения противоэпидемических мероприятий ( $u_1 \rightarrow 0$ ) или мутации вируса в формы, способные вызвать пандемию ( $u_4 \rightarrow 1$ ).

В итоге, например, для заражения от диких водоплавающих птиц коэффициент  $\beta_1 = \beta_{01} \theta \eta \nu \chi(l) \mu$  [Владимиров и др., 2008]. Равенство нулю любого, стоящего в знаменателе коэффициента, в частности, неблагоприятные температуры ( $\theta=0$ ), непопадание в зону перелета птиц ( $\nu=0$ ), малочисленность ( $\eta=0$ ) или полная изолированность ( $\mu=0$ ) местного населения, а также проведение эффективных профилактических мероприятий ( $u=0$ ), определяет значение частоты контактов  $\beta_1=0$  и соответствует ситуации нераспространения болезни.

При проведении сравнительного анализа эпидемиологической и эпизоотической опасности можно выбрать одно из направлений контакта, например,  $i=1$  и в уравнении (5.4) принять  $\alpha_4=1$ ,  $\eta=1$ ,  $\nu=1$ ,  $u=1$ ,  $\Delta\tau=1$ ,  $\chi=1$ ,  $\theta=1$ , т.е. оставить в (5.4) только локально-географически значимые коэффициенты:  $\beta_{01}$  - зависимость от географического положения,  $\chi(l)$  - распространения птиц,  $\mu$  - распределения местообитаний и  $N_4$  - плотности населения ( $f = \beta_{01} \chi \mu N_4$ ). Для исследования развития ситуации в пространстве и времени на разных масштабных уровнях потребуется учитывать точные локальные значения поправочных коэффициентов.

Таким образом, геоинформационное картографирование опасности возникновения птичьего гриппа в регионе основывается на синтезе

следующих электронных карт: 1) рельефа территории Предбайкалья с дифференциацией высот; 2) ландшафтов Предбайкалья в разрезе групп фаций; 3) плотности населения Иркутской области, построенной на основе ГИС-данных о размещении и численности населенных пунктов; 4) путей миграции и мест массовых остановок водоплавающих птиц Байкальской Сибири. Автоматически выделяются разноудаленные зоны распространения птиц вокруг этих путей и мест (рисунок 5.6), разные категории водно-болотных комплексов (см. рисунок 5.5). Многослойная информация кодируется и синтезируется в соответствие с формулой  $f = \beta_{0i} \gamma \mu N_4$  по каждому элементу геоизображения. Итоговая карта дает медико-географическую оценку возможности (риска) возникновения заболеваний населения птичьим гриппом и связанных с населением домашних птиц (рисунок 5.7).

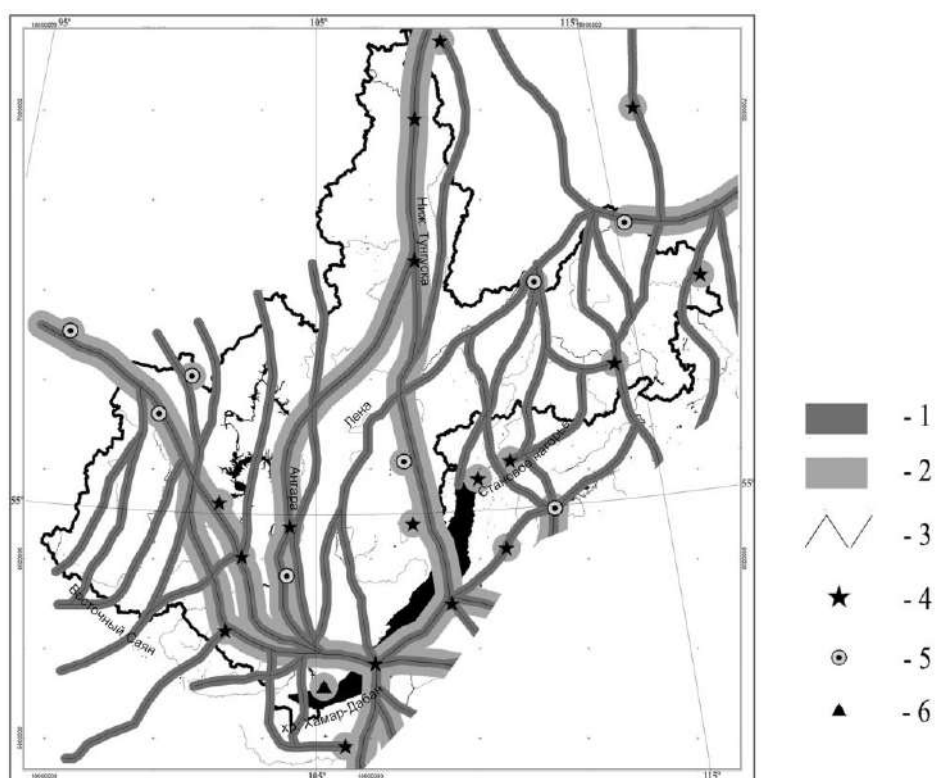


Рисунок 5.6. Зоны распространения птиц вокруг путей миграции и мест массовых остановок водоплавающих птиц Байкальской Сибири. 1 – 15-км буферная зона пролета, 2 – 30-км буферная зона пролета вдоль основных

путей миграции, 3 – пути миграции, 4 – участки массовых гнездований водоплавающих птиц, 5 – участки массовых остановок, 6 – зимовки.

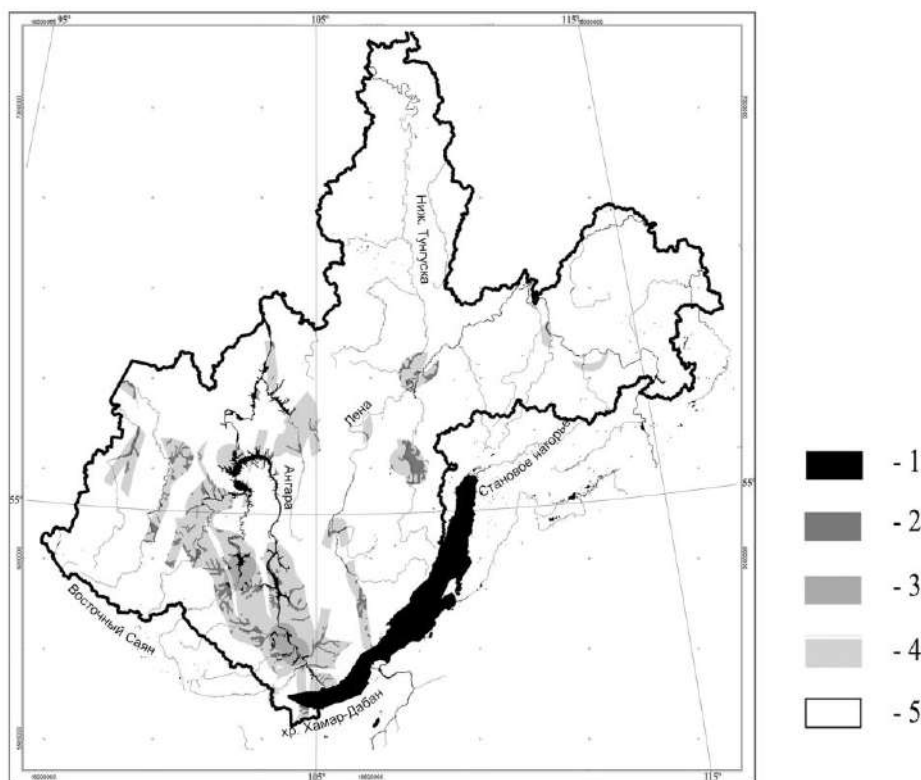


Рисунок 5.7. Медико-географическая оценка возможности возникновения заболеваний населения птичьим гриппом. 1 – очень высокая, 2 – высокая, 3 – средняя, 4 – низкая, 5 – отсутствует.

По совокупности факторов наибольшая опасность возникновения эпизоотии и эпидемии птичьего гриппа свойственна равнинным районам Верхнего Приангарья и населенным районам по линии Транссибирской и Байкало-Амурской железных дорог (Тайшет-Иркутск, Тайшет-Лена). Вспышка заболеваний возможна в Верхне-Ленских районах по населенным пунктам, расположенным преимущественно вдоль р. Лена. Показаны зоны повышенной опасности, приуроченные к участкам распространения озерно-болотных комплексов.

Геоинформационная подготовка мероприятий по противодействию распространению гриппа птиц основана на знании ландшафтов территории, распределении зональных и азональных факторов, распределении населения,

распространения диких и домашних водоплавающих птиц, экологии птиц и вирусов гриппа. На этой основе вычисляется комплексный показатель  $f$ , являющийся мультипликацией специальных коэффициентов, отражающих локально-географические условия возникновения эпизоотии и эпидемии. Каждый из коэффициентов рассчитывается как функция частных географических характеристик, поэтому итоговая величина  $f$  становится сложной функцией переменных, зависящих от пространственных и временных координат. Переменная  $f$  отражает возможность контакта и заражения населения или домашней птицы за единицу времени, и в значительной степени зависит от плотности населения. Значения  $f$  картографируются с получением прогнозно-оценочных карт опасности заражения птичьим гриппом.

Величина  $f$  является частью уравнения развития эпидемиологического процесса, позволяющего в первом приближении прогнозировать изменение ситуации в этом отношении. Результаты прогноза во многом зависят от пространственно-временных масштабов явления и влияния случайных и управляющих воздействий. Развитие методов геоинформационного картографирования и моделирование связано с использованием этих уравнений для просчета развития ситуации в изменяющейся природной среде с использованием данных дистанционного зондирования, оперативных метеорологических данных и сведений о реальной гибели птиц в разных ареалах. Особенностью такого моделирования и прогнозирования является учет местных ландшафтно-географических предпосылок вспышки заболевания.

#### **5.4. Разработка предложений по оптимизации природопользования в Прибайкалье на основе учета экологического потенциала геосистем региона.**

Разработку предложений по оптимизации природопользования в Байкальской Сибири на основе учета экологического потенциала геосистем

региона можно рассмотреть на примере разработки методики территориального планирования ЦЭЗ БПТ, выполненной в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН [Плюснин, Владимиров, 2013]. Данная методика может являться основой для создания комплексной схемы охраны и использования природных ресурсов БПТ, являющейся основой для осуществления хозяйственной и иной деятельности на БПТ.

ЦЭЗ БПТ представляет собой сложную природно-хозяйственную систему с особыми физико-географическими, экологическими и социально-экономическими условиями развития. Специфика хозяйственного освоения и использования этой территории (землепользование, использование природных ресурсов, экономическое развитие) определяется не только существующим ресурсным потенциалом и природными условиями, но и, главным образом, природоохранным законодательством, разрабатываемом на всех уровнях государственной власти (федеральном, региональном, местном).

Основной функцией ЦЭЗ БПТ является сохранение уникальной экологической системы оз. Байкал и предотвращение негативных воздействий хозяйственной и иной деятельности на ее состояние. Вместе с тем необходимо решить проблему обеспечения нормальных условий жизнедеятельности населения в этом регионе, поскольку жесткие правила охраны озера приведут к обострению социально-экономической ситуации [Владимиров и др., 2016].

Основные источники атмосферного воздействия на оз. Байкал - промышленные предприятия, находящиеся на Байкальской природной территории, участки Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей. Наибольшую степень вероятности попадания в озеро имеют воздушные выбросы промышленных предприятий и котельных населенных пунктов (Слюдянки, Байкальска, Северобайкальска, Нижнеангарска и др.), расположенных в котловине озера Байкал. Продукты воздушного переноса от Иркутско-Черемховской промышленной зоны представляют меньшую часть

общего объема загрязнения атмосферы над Байкалом, что вызвано удаленностью и метеорологическими характеристиками, влияющими на рассеивание выбросов.

На территории Северного Прибайкалья формируется единая зона распространения атмосферных загрязнений, вытянутая вдоль побережья озера Байкал. Ее площадь для г. Северобайкальск составляет порядка 150 км, а для п. Нижнеангарска – 60 км [Белозерцева и др., 2015]. Содержание отдельных примесей имеет тренд к уменьшению, но уровень загрязнения воздушного бассейна остается на высоком уровне.

Наиболее информативным объектом при выявлении техногенного загрязнения атмосферы является снежный покров, характеризующийся большой сорбционной способностью. В ЦЭЗ БПТ выделяется несколько зон техногенного загрязнения с концентрацией твердого осадка в снеге от 0,5 до 10 г/кг [Белозерцева и др., 2015]. Снеговые воды вблизи источников могут иметь минерализация, превышающую фон в 10 раз, а максимальные запасы твердого вещества в снеге могут достигать 200 г/м<sup>2</sup>. Выделяются зоны с повышенным содержанием кальция, магния, натрия и калия. Из растворимых в снеге катионов преобладают катионы натрия и калия. На территории, прилегающие к п. Култук и г. Слюдянка, приходятся максимальные значения нерастворимого остатка снега, связанные с работой местных систем отопления, а максимальные значения растворимого остатка на территории возле г. Байкальск. Загрязнение снежного покрова химическими элементами распространяется с юго-востока на северо-запад на 60 км при ширине 10 – 15 км.

При стихийном развитии туризма на берегах озера Байкала одной из важнейших задач, требующих решение становится проблема сбора, утилизации и переработки твердых бытовых отходов. Большой частью мусор отправляется на свалки, как санкционированные, так и стихийные [Владимиров, Богданов, Плюснин, 2015].

В пределах ЦЭЗ БПТ ведется добыча цементного и кварцевого сырья, облицовочных и поделочных камней, различных видов строительных материалов, с локальными нарушениями окружающей среды. Вблизи населенных пунктов, дорог, турбаз также наблюдаются значительные антропогенные изменения природной среды (вырубki, гари и т.д.) (рисунок 5.8.).

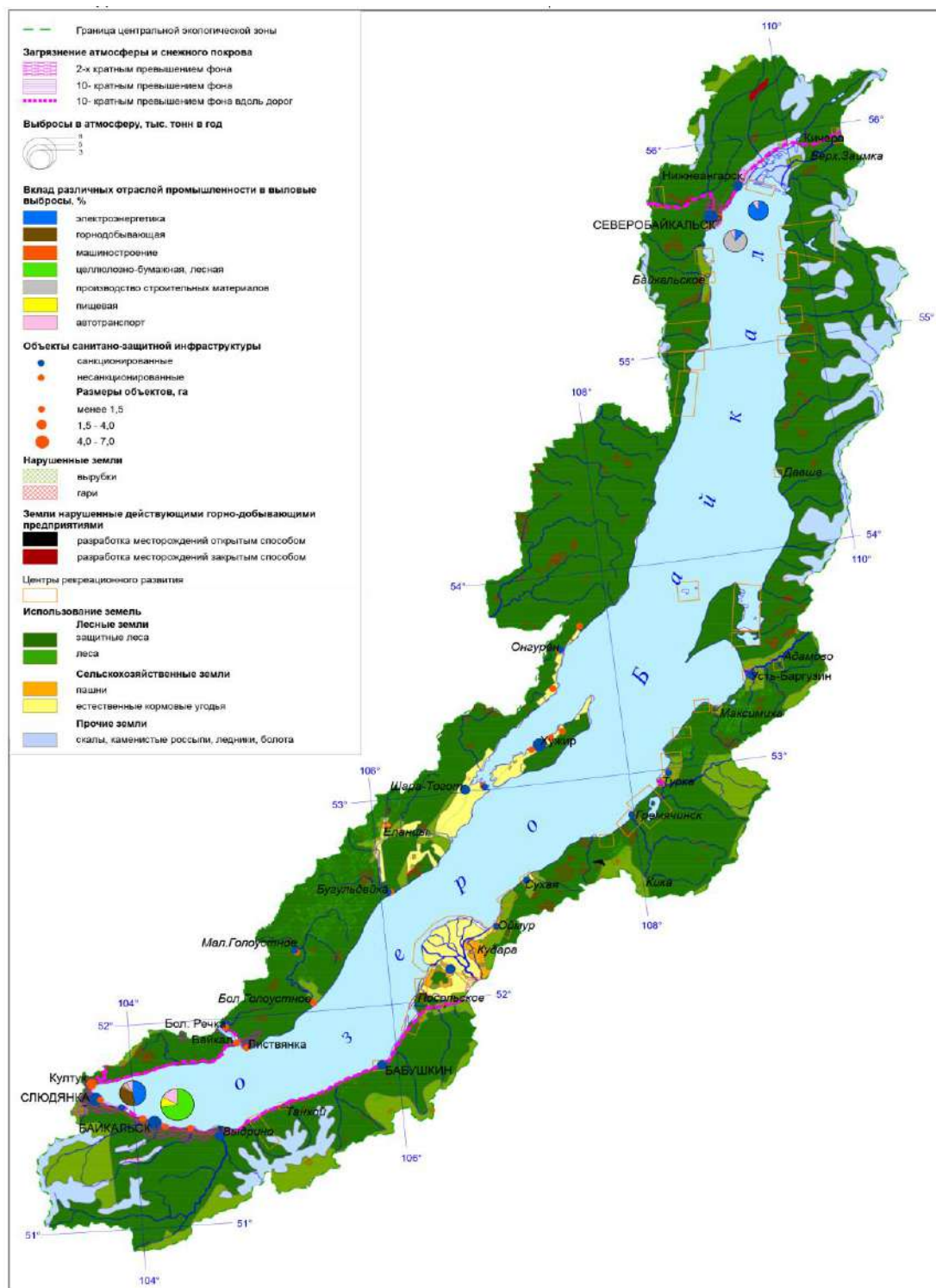


Рисунок 5.8. Природопользование и экологическое состояние ЦЭЗ БПТ [Владимиров, Богданов, Плюснин, 2015].

К основным недостаткам действующей государственной системы охраны озера Байкал относятся: несовершенство и недостаточность нормативно-правового обеспечения охраны озера; отсутствие утвержденного перечня существующих и потенциальных источников экологической опасности озеру Байкал; недостаток предусмотренных законодательством основополагающих документов, регламентирующих хозяйственную деятельность и охрану окружающей природной среды на землях БПТ - схем территориального планирования, типовых и индивидуальных правил землепользования и застройки, генеральных планов поселений и др.; неполное использование экономических и финансовых механизмов охраны окружающей среды и социально-экономического развития на БПТ; отсутствие единой системы государственного надзора и контроля за природопользованием и охраной окружающей среды на БПТ, недостаток координации и взаимодействия контрольных органов исполнительной власти; несовершенство системы государственного экологического мониторинга уникальной экологической системы озера Байкал [Владимиров и др., 2016].

Одним из путей устранения данных недостатков и обеспечения устойчивого развития территории ЦЭЗ БПТ является разработка комплексной схемы охраны и использования природных ресурсов БПТ - основного законодательного и планового документа, регламентирующего хозяйственную и природоохранную деятельность на БПТ. Данная схема может быть создана на основе материалов территориального планирования ЦЭЗ БПТ. Основной целью территориального планирования является установление долгосрочной стратегии по организации использования и устойчивому развитию территории. Схема территориального планирования должна обеспечивать сбалансированность решения задач охраны уникальной экосистемы озера Байкал и социально-экономического развития территории, учитывая совпадение границ центральной экологической зоны БПТ с



границами объекта всемирного природного наследия ЮНЕСКО «Озеро Байкал» [Плюснин, Владимиров, 2013].

Один из ключевых моментов территориального планирования ЦЭЗ БПТ основывается на признании бассейна озера Байкал регионом особого природопользования, стратегической линией развития которого является подчинение всей деятельности на этой территории сохранению уникального ресурса - озера Байкал. Принцип устойчивого развития территории реализуется в процессе проведения экологического зонирования, конечным результатом которого является сценарий перспективного развития выделенных типов территорий (экологических) с учетом взаимосвязанных и взаимообусловленных экономических, социальных и экологических факторов.

Основными задачами схемы являются:

- 1) определение перспективного назначения территорий ЦЭЗ БПТ на основе анализа социальных, экономических, экологических и иных факторов;
- 2) создание условий для конкурентоспособности экономики региона, повышения инвестиционной привлекательности территории путем обеспечения реализации мероприятий, направленных на развитие транспортной и инженерной инфраструктуры, стимулирование жилищного и коммунального строительства, науки, туризма;
- 3) обеспечение сохранения уникальной экологической системы озера Байкал, имеющей общечеловеческую ценность, особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение;
- 4) формирование предложений по следующим мероприятиям:
  - охраны уникальной экосистемы озера Байкал;
  - социально-экономического развития ЦЭЗ БПТ;
  - развития инфраструктуры в ЦЭЗ БПТ;
  - защиты территорий ЦЭЗ БПТ от воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

- первоочередного градостроительного планирования ЦЭЗ БПТ;
- совершенствования нормативно-правового регулирования социально-экономического развития региона и охраны уникальной экологической системы озера Байкал.

В результате выполнения работ для территории ЦЭЗ БПТ были созданы следующие картографические произведения с конкретными предложениями по оптимизации природопользования:

1. Схема современного использования ЦЭЗ БПТ (рисунок 5.9).

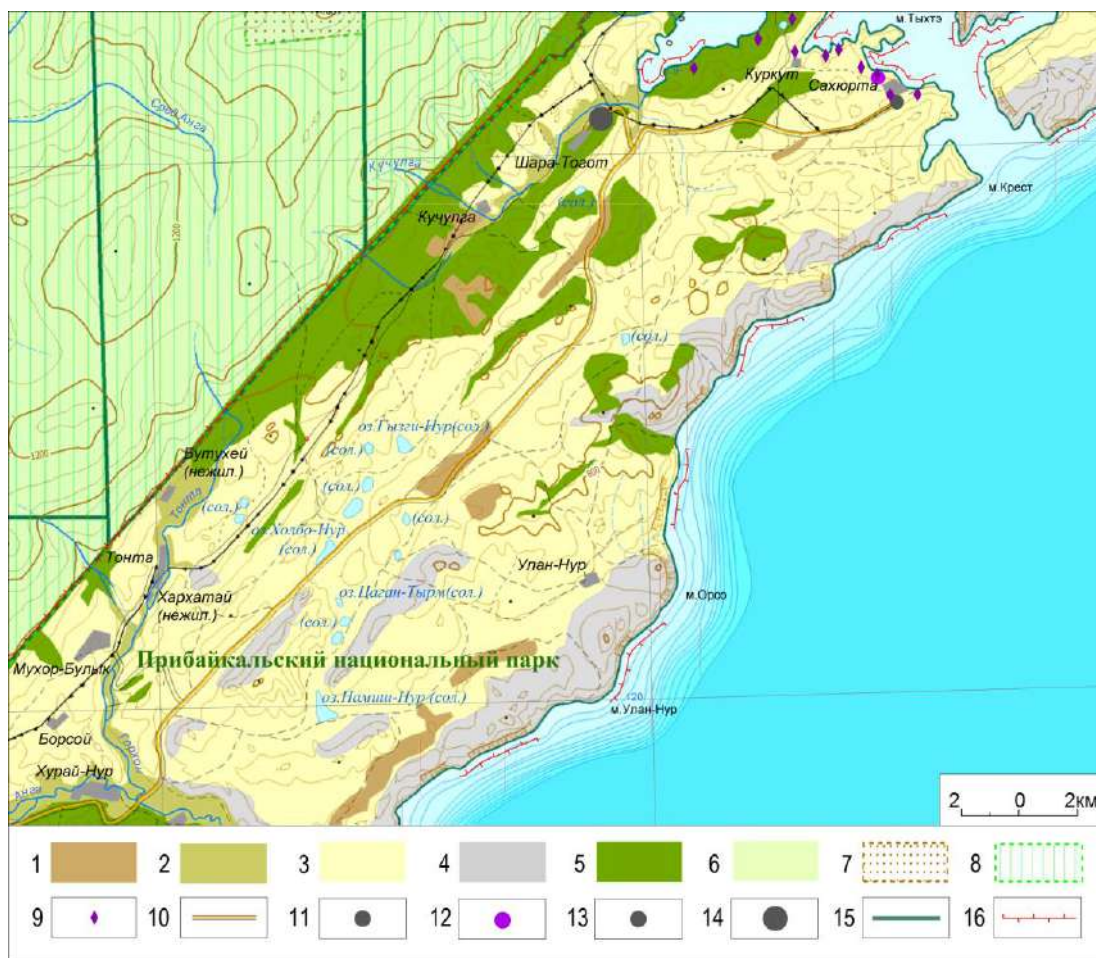


Рисунок 5.9. Фрагмент схемы современного использования ЦЭЗ БПТ

*Сельскохозяйственные угодья:* 1. Пашни, залежи, 2. Сенокосы, 3. Пастбища. 4. Выходы коренных пород. *Лесные территории:* 5. Леса на землях сельскохозяйственных пользователей, 6. Защитные леса. *Категории защитных лесов:* 7. Орехово-промысловые зоны, 8. Запретные полосы лесов по берегам рек, озер, водохранилищ и других водных объектов. 9. Турбазы. *Земли транспортной и коммуникационной инфраструктуры:* 10. Автомобильные дороги с покрытием. *Объекты санитарно-защитной инфраструктуры:* 11. Санкционированные, 12. Несанкционированные, размер объектов, га: 13. Менее 1,5, 14. 1,5 - 4,0. 15. Границы лесничеств, 16. Границы особо охраняемых природных территорий.

Для составления схемы современного использования территории центральной экологической зоны БПТ использовались различные картографические материалы (топографические карты, данные земле- и лесоустройства, карты и другие дополнительные материалы по размещению ООПТ, карты сельскохозяйственных земель и др.), данные дистанционного зондирования Земли (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Ресурс-О1, SPOT 5) разных лет и разного пространственного разрешения, результаты полевых экспедиционных исследований, а также научные литературные источники.

На схеме отображена территориальная и природно-хозяйственная структура землепользования, распределение земельного фонда между землепользователями, его производственную специализацию, размещение населенных пунктов, производственных объектов, антропогенную нарушенность земель, земли с особым режимом природопользования, земли, занятые транспортной и коммуникационной инфраструктурой, объекты санитарно-защитной инфраструктуры и т.д.

2. Схема экологического зонирования ЦЭЗ БПТ (рисунок 5.10). Экологическое зонирование позволяет разграничить участки, рекомендуемые для сохранения природной среды или социально-экономического развития, оконтурить участки с наиболее острыми экологическими проблемами и наметить пути их восстановления, уточнить направления развития территории и конкретизировать базовые структуры этого развития. На схеме экологического зонирования ЦЭЗ БПТ отображены: экологические зоны ландшафтов (зона водорегулирующих ландшафтов, зона реликтовых ландшафтов, зона высокого разнообразия ландшафтов, зона средостабилизирующих ландшафтов, зона типоморфных ландшафтов), зоны загрязнения атмосферы и снежного покрова центральной экологической зоны БПТ, вклад различных отраслей промышленности в валовые выбросы, памятники природы.

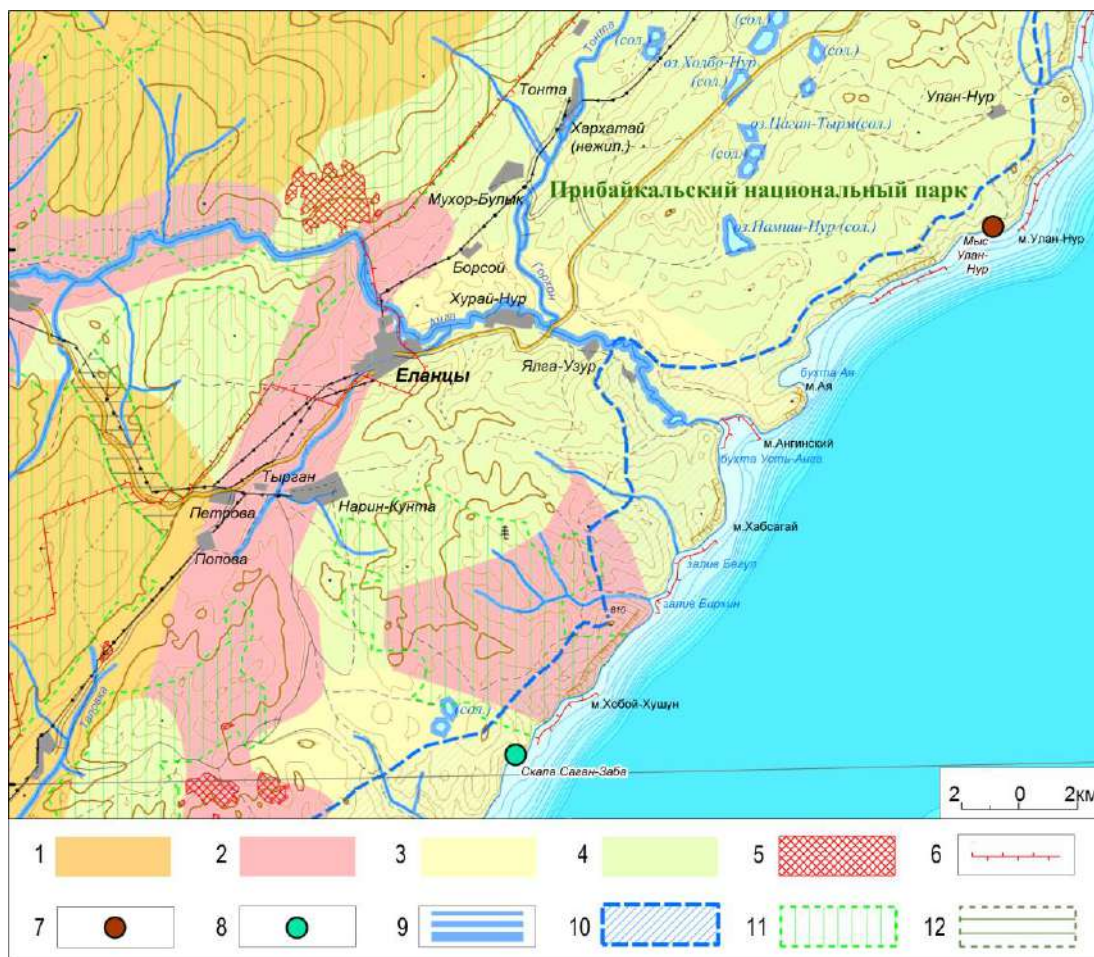


Рисунок 5.10. Фрагмент схемы экологического зонирования ЦЭЗ БПТ

*Экологические зоны ландшафтов:* 1. Зона водорегулирующих ландшафтов, 2. Зона высокого разнообразия ландшафтов, 3. Зона средостабилизирующих ландшафтов, 4. Зона типоморфных ландшафтов. *Нарушенные лесные земли:* 5. Гари. 6. Границы особо охраняемых природных территорий. *Памятники природы:* 7. Геологические, 8. Ландшафтные. *Водоохранные зоны:* 9. Рек, ручьев, озер, водохранилищ (ширина полосы 50, 100 и 200 м), 10. Водоохранная зона озера Байкал (разработка ИГ СО РАН для МПР РФ, определена на основе ландшафтно-гидрологического метода). *Защитные леса:* 11. Запретные полосы лесов по берегам рек, озер, водохранилищ и других водных объектов, 12. Запретные полосы лесов, защищающих нерестилища ценных промысловых рыб.

Методологическая позиция, положенная в основу выделения экологических зон ландшафтов, раскрывается через выделение разной категории уникальности ландшафтов [Коновалова, 2011]. Решение поставленной задачи разбивается на 4 этапа: 1) оценка факторной системы влияния на уникальность лесов: анализ ландшафтной карты; 2) экспертная оценка уникальности лесов различных местоположений, основываясь на опыте ландшафтно-экологических исследований: выделение базисных

ситуаций; 3) поиск закономерностей формирования уникальных местообитаний: анализ влияющих факторов; 4) оценка и построение карты.

К зоне водорегулирующих ландшафтов отнесены ландшафты, которые имеют характер определяющего значения в формировании и сохранении водного баланса территории. Если произойдут коренные изменения в их структуре, то, очевидно, трансформируется вся природная система региона. К этой категории относятся гольцовые, подгольцовые редколесные, горно-таежные геосистемы редуцированного и ограниченного развития [Плюснин, Владимирова, 2013].

В зону высокого разнообразия ландшафтов входят ландшафты существование которых определяется условиями, вызванными местными географическими особенностями: характером геологического строения территории (лессы, карст и т.п.), литоморфностью, выходом термальных вод, засолением почв и др. Также к этой категории относятся ландшафты небольших речных долин и трогов с измененными, по отношению к фоновой норме, соотношениями тепла и влаги. Функционирование ландшафтов данной категории жестко ограничено проявлением локальных природных факторов и любая трансформация внешней среды приводит к их исчезновению.

В зону средостабилизирующих ландшафтов входят светлохвойные сосновые и лиственничные травяные подгорные и террасовые типы ландшафтов, находящиеся на стыке со степями; борными лишайниковыми и мертво-покровными сосняками, развитыми на озерно-речных четвертичных отложениях, отличающихся рыхлостью и слабой цементацией, в результате чего легко развеваются и превращаются в движущиеся пески. Любое антропогенное воздействие способствует развитию процессов эрозии почв, гибели древостоев, развеванию песчаных отложений и превращению их в движущиеся пески, уменьшению естественной регуляции стока малых рек и их пересыханию [Плюснин, Владимирова, 2013].

Зона типоморфных ландшафтов. Ландшафты данной категории в наибольшей степени соответствуют современным ландшафтообразующим условиям региона, и имеют широкое распространение в Байкальской Сибири.

3. Схема функционального зонирования ЦЭЗ БПТ (рисунок 5.11). На схеме функционального зонирования территории отражены типы целей использования и четырнадцать типов функциональных зон:

- сохранение современного состояния (отказ от использования, отказ от отдельных видов использования, сохранение существующего использования, ограниченное использование, использование, интенсификация использования, улучшение с последующим переводом в другую категорию);

- хозяйственная функция (природоохранная, преимущественно природоохранная, рекреационная, обеспечение населения продукцией леса, почвозащитная, водоохранная, обеспечение сельскохозяйственных животных естественными кормами, получение естественных кормов, селитебная, производственная, научно-образовательная);

- режим использования (заповедный режим, исключаящий любые формы деятельности; заказной режим - любой вид использования под контролем природоохранных служб, развитие новых видов деятельности ограниченное необходимостью сохранения природных режимов, допускающее традиционные виды использования и строго регламентированный туризм; традиционные виды использования - уход за лесом, лесовосстановление на гарях и рубках, выпас скота с использованием традиционных методов и соблюдением норм нагрузок, регламентированный туризм с нормированием рекреационных нагрузок, обустройство мест отдыха, выпас скота, сенокошение и др.).



Рисунок 5.11. Фрагмент схемы функционального зонирования ЦЭЗ БПТ

**Тип цели использования:** *Сохранение существующего использования:* 1. Развитие новых видов деятельности ограничено необходимостью сохранения природных режимов. Допускаются традиционные виды использования, строго регламентированный туризм (Преимущественно природоохранная, рекреационная функция); *Ограниченное использование:* 2. Допускаются традиционные виды использования, уход за лесом, лесовосстановление на гарях и рубках (Обеспечение населения продукцией леса, почво-защитная, водоохранная функция); 3. Допускаются традиционные виды использования, уход за лесом, лесовосстановление на гарях и рубках, регламентированный туризм (Обеспечение населения продукцией леса, почво-защитная, водоохранная функция); *Использование:* 4. Выпас скота с использованием традиционных методов и соблюдением норм нагрузок (Обеспечение сельско-хозяйственных животных естественными кормами); 5. Регламентированный туризм, нормирование рекреационных нагрузок, обустройство мест отдыха (Рекреационная функция); *Интенсификация использования:* 6. Выпас скота (Обеспечение сельско-хозяйственных животных естественными кормами); 7. Мероприятия по устойчивому обеспечению электро- и водоснабжению, утилизации отходов, обслуживанию населения (Селитебная, научно-образовательная, производственная функция); **Границы:** 8. Особо охраняемые природные территории; 9. Водоохранные зоны рек, ручьев. Ширина полосы 50, 100 и 200 м; 10. Водоохранная зона озера Байкал (разработка ИГ СО РАН для МПР РФ, определена на основе ландшафтно-гидрологического метода)

Интегрированная концепция использования территории разрабатывалась на основе анализа социально-экономических проблем,

ресурсной оценки территории и сформулированных типов целей использования для отдельных природных компонентов.

4. Карта ограничений «Зоны с особыми условиями использования территорий» (рисунок 5.12). На карте отображены: границы особо охраняемых природных территорий; зоны залегания полезных ископаемых; зоны с экстремальными природно-климатическими условиями; территории, подверженные воздействию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; зоны чрезвычайных экологических ситуаций и экологического бедствия, иные зоны установленные в соответствии с законодательством РФ и законодательством субъектов РФ - буферные зоны особо охраняемых природных территорий, водоохранные зоны озер и рек, охранные зоны водозаборов, санитарно-защитные полосы, границы особых экономических зон и др.

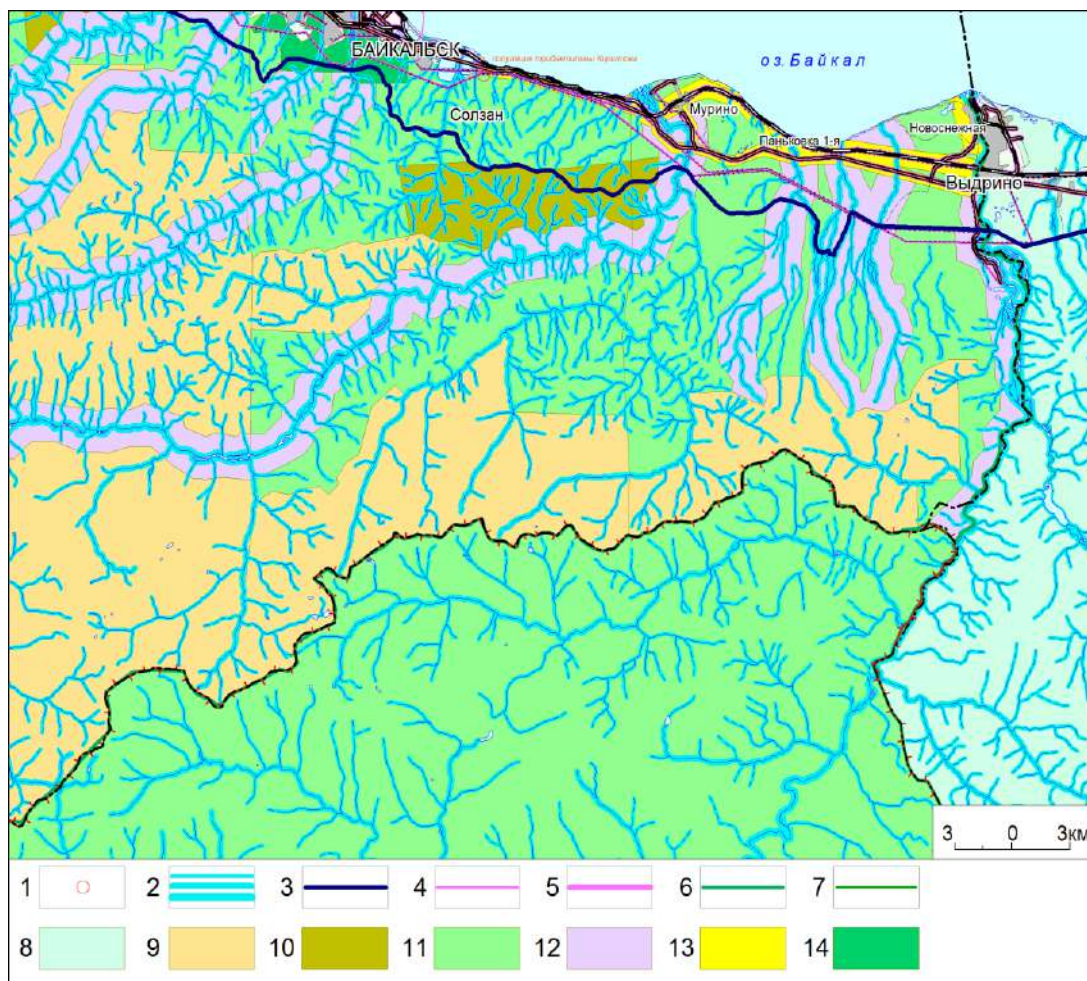


Рисунок 5.12. Фрагмент карты ограничений «Зоны с особыми условиями использования территорий»



1. Территории охраны памятников природы, 2. Водоохранные зоны рек, ручьев, озер, водохранилищ 50,100,200 м, 3. Водоохранная зона озера Байкал (разработка ИГ СО РАН для МПР РФ, определена на основе ландшафтно-гидрологического метода), 4. Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий, 5. Санитарно-защитные полосы вдоль автомобильных и железных дорог ЛЭП и линий связи, 6. Границы лесничеств, 7. Границы участковых лесничеств. *Категории защитности лесов*: 8. Леса в водоохранных зонах, 9. Противозерозивные леса, 10. Орехопромысловые леса, 11. Запретные полосы лесов по берегам рек, озер, водохранилищ и других водных объектов, 12. Запретные полосы лесов, защищающих нерестилища ценных промысловых рыб, 13. Запретные полосы лесов вдоль ж/д магистралей, автомобильных дорог федерального и республиканского значения, 14. Леса зеленых зон поселений и хозяйственных объектов

5. Карта ограничений «Территории, подверженные риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (Рисунок 5.13).

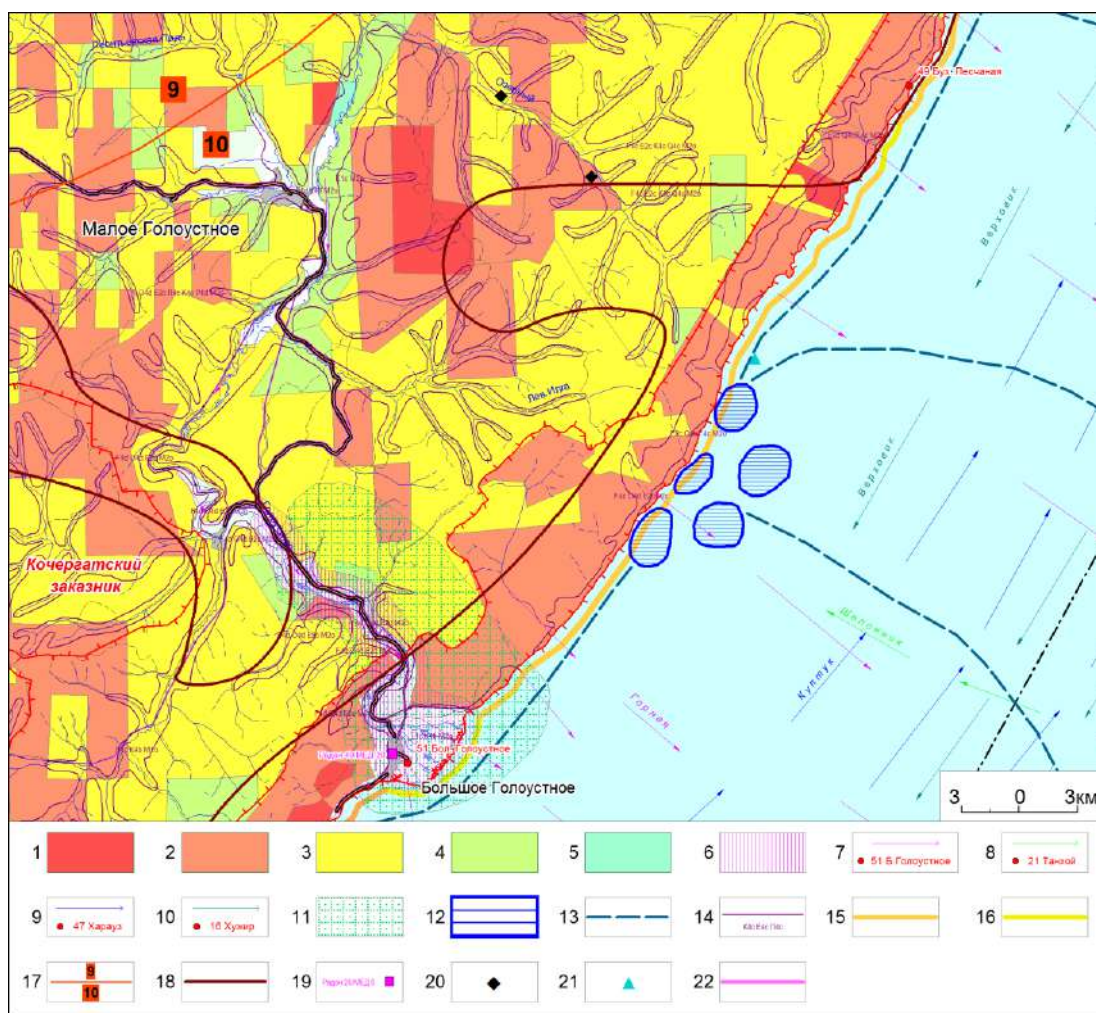


Рисунок 5.13. Фрагмент карты ограничений «Территории, подверженные риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»

*Классы природной пожарной опасности лесов*: 1. Очень высокий, 2. Высокий, 3. Средний, 4. Слабый, 5. Отсутствует. *Опасные гидрометеорологические явления*: 6.

Участки проявления наиболее сильных штормовых ветров. *Направления штормовых ветров, их названия и повторяемость дней в год на метеостанциях:* 7. Горная, 8. Шелонник, 9. Култук, 10. Верховик, 11. участки проявления сильных и частых туманов. *Участки проявления опасных ледовых явлений:* 12. Пропарины, 13. Становые трещины. *Районирование территории по риску возникновения опасных экзогенных процессов:* 14. Границы районов, индекс района (Процесс: S - сели, L - лавины, E - эрозия (в том числе и водная), O - обвально-осыпные процессы, P - оползни, F - сплывы, Q - курумы, D - дефляция, B - болота, процессы заболачивания, K - карст, П - суффозионно-просадочные процессы.). Характер распространения: 1 - линейный, 2 - площадной, 3 - полосообразный, 4 - точечный, 5 - единичный. Тип риска: a - одноразовый, b - скрытый, c - постоянный, d - переменный. *Береговые процессы:* 15. Подмыв оснований склонов, 16. Аккумуляция. 17. Территории с опасностью землетрясений (9-10 баллов). 18. Зоны природного аномального радиационного фона и радоноопасности. 19. Содержание радона в почвенном воздухе на глубине 1 м (Бк/м<sup>3</sup>) и мощность экспозиционной дозы (МЕД) внешнего у- излучения (мкР/ч). 20. Участки аномального природного содержания редких токсичных элементов. 21. Участки опасного проявления углеводородных систем. *Территории, подверженные риску ситуаций техногенного характера:* 22. Риск возникновения происшествий на транспортных, электрических сетях и линиях связи.

Непосредственную опасность осуществляемому и планируемому хозяйственному освоению территории ЦЭЗ БПТ представляет риск возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Риск в первую очередь определяется широким распространением проявлений опасных природных процессов, а также наличием антропогенных объектов, при эксплуатации которых могут возникать техногенные аварии. Опасные природные и природно-техногенные процессы и явления могут воздействовать на антропогенные объекты, создавая аварийные ситуации и становиться причиной аварий и катастроф.

Для территориальной оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера необходим комплексный анализ и учет всех факторов - и природного, и техногенного характера.

На разработанной карте отображены следующие опасные природные процессы и явления - основные факторы риска возникновения в ЦЭЗ БПТ чрезвычайных ситуаций природного характера: а) геологические, б) атмосферные, в) гидрологические, г) метеогенно-биогенные.

Основными факторами риска возникновения в ЦЭЗ БПТ чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются: а) коммуникационные сооружения - железные и автомобильные дороги, ЛЭП, линии связи, мосты,

трубопроводы и др., б) промышленные объекты, в том числе сооружения для складирования и хранения отходов производства, в) селитебные объекты, г) гидротехнические сооружения.

6. Схема мероприятий по защите территорий от воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (Рисунок 5.14).

Для предотвращения опасного воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в ЦЭЗ БПТ необходимо проведение комплекса специальных защитных мероприятий. На схеме мероприятий по защите территорий от воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера отображены: территории, требующие проведение мероприятий по защите территорий от воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, с обозначением конкретных мероприятий.

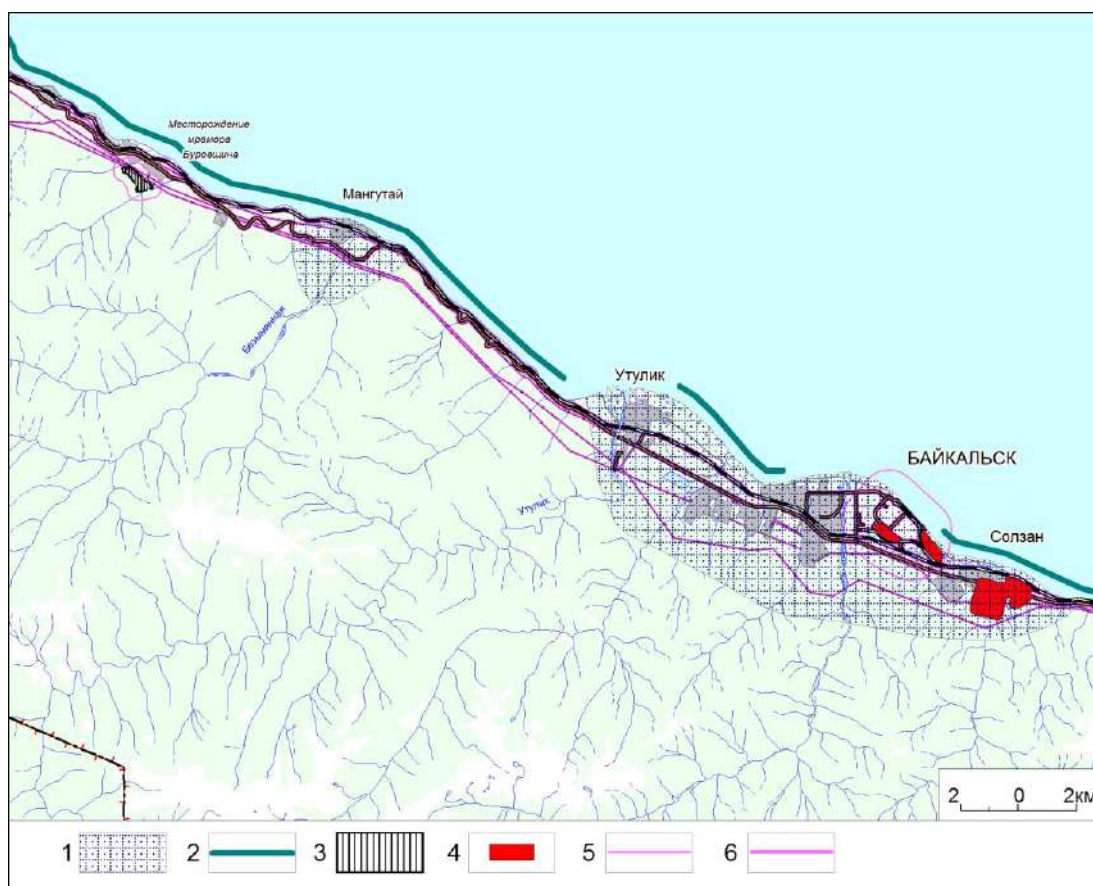


Рисунок 5.14. Фрагмент схемы мероприятий по защите территорий от воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

1. Комплекс мероприятий по защите от наводнений и паводков. 2. Берегоукрепление. 3. Мероприятия по снижению возможного ущерба от ЧС, связанных с

разработкой месторождений полезных ископаемых. 4. Рекультивация территории складирования промышленных отходов БЦБК. 5. Обеспечение промышленной безопасности. 6. Мероприятия по снижению риска возникновения происшествий на транспортных, электрических сетях и линиях связи.

Анализ существующих эколого-экономических проблем и конфликтов природопользования и выработка направлений их решения позволили обозначить запреты и ограничения, с учетом которых должна осуществляться вся хозяйственная деятельность на этой территории, а также проблемы землепользования, обострившиеся в связи с принятием последних нормативных правовых актов по установлению границ водоохранной и рыбоохранной зон озера Байкал [Распоряжения Правительства РФ от 05.03.2015 № 368-р]. К ним относятся: запрет на перевод земель лесного фонда, занятых защитными лесами, в земли других категорий, за исключением перевода таких земель в земли особо охраняемых территорий и объектов при них, запрет на перевод земель лесного фонда в земли населенных пунктов, государственная регистрация права собственности на земельные участки, регистрация права собственности на земельные участки под объекты туристской инфраструктуры, предоставление земельных участков под дачные некоммерческие товарищества на землях сельскохозяйственного назначения.

Рекомендации по экологической оптимизации природопользования с целью сохранения экологического потенциала геосистем Прибайкалья определяют главные направления природоохранной деятельности, а именно: особое сохранение коренных геосистем, восстановление нарушенных геосистем, регулируемое и экологически ориентированное использование растительности как самого критичного компонента геосистем, меры по противопожарной охране геосистем. При этом должны учитываться основные критерии геосистем, такие как степень нарушенности, устойчивость, экологические функции. Все эти критерии определяют экологический потенциал геосистем и их роль в формировании качества природной среды региона.

Каждое из указанных направлений природоохранной деятельности должно включать целый ряд конкретных мероприятий, важных для сохранения уникальных геосистем Байкальской Сибири.

*Сохранение коренных геосистем.* В условиях нарастания интенсивности антропогенных деструкции геосистем в Байкальской Сибири, препятствующих их естественному развитию и, соответственно, снижающих экологический потенциал геосистем и качество природной среды в регионе, основной задачей становится сохранение оставшихся коренных геосистем через их заповедование или запрет на этой территории хозяйственной деятельности.

Эффективной мерой в этом плане может являться совершенствование системы ООПТ, в том числе и создание новых ООПТ [Калихман, 2007], а также повышение их ответственности за охрану природных систем.

*Восстановление нарушенных геосистем.* После произошедших в последние годы катастрофических пожаров в лесах Байкальской Сибири, и с учетом уже имеющихся здесь антропогенных нарушений в геосистемах за предыдущие десятилетия, особенно актуальной экологической проблемой становятся задача содействия восстановлению нарушенных геосистем.

Масштабы разрушений растительности геосистем таковы, что здесь уже не обойтись локальными работами по лесовосстановлению. Необходимой становится разработка государственной программы санационных мероприятий по лесовосстановлению в наибольшей степени понесших ущерб регионах Байкальской Сибири.

*Регулируемое использование растительности геосистем.* Одновременно с мероприятиями по восстановлению нарушенной растительности геосистем необходимо привести в порядок систему нормирования рационального использования растительных ресурсов. Правовое нормирование должно охватывать не только допустимые объемы изъятия растительных ресурсов, но и временные параметры периодов изъятия. Последнее особенно важно, так как абсолютное большинство лесных и торфяных пожаров происходит по вине заготовителей в них

ресурсов и в настоящее время слабо контролируется [Плюснин, Владимиров, 2013].

*Экологически ориентированное хозяйственное использование растительности.* Во-первых, в лесном хозяйстве Байкальского региона необходимо полностью прекратить несанкционированные рубки. Санкционированные лесозаготовки должны перейти на новый экологически обусловленный уровень, с обязательными мероприятиями по содействию лесовосстановительным процессам, что означает проведение рубок в зависимости не только от возрастной зрелости основного древостоя, но и с учетом лесотипологической и динамической характеристик лесных сообществ. При этом особое внимание должно уделяться наличию в светлохвойном или мелколиственном древостое подроста пихты, ели и, особенно, кедра, что свидетельствует об активном восстановительном процессе коренной растительности геосистем.

*Общезащитные меры по охране геосистем.* В Байкальском регионе необходима срочная оптимизация противопожарной деятельности с целью повышения ее эффективности и ориентации на профилактику и предотвращение лесных и торфяных пожаров.

Глобальная цель территориального планирования ЦЭЗ БПТ заключается в формировании гармоничных отношений между природой и обществом на региональном и локальном уровнях при устойчивом социально-экономическом развитии региона. Осуществление рационального использования природно-ресурсного потенциала с сохранением оптимального функционирования природных комплексов в бассейне озера Байкал. Это достигается посредством более детальной дифференциации территории ЦЭЗ БПТ, основанной на ее ландшафтно-геоструктурном анализе с учетом антропогенных нагрузок и ограничений хозяйственной деятельности, разработкой конкретных рекомендаций по сбалансированному перспективному развитию территории, предполагающему рациональное использование природно-ресурсного потенциала в целях сохранения уникальной экосистемы озера Байкал и БПТ в целом.

Разработанная схема территориального планирования центральной экологической зоны БПТ направлена на создание условий территориального и социально-экономического развития данной территории, и является основой для комплексной схемы охраны и использования природных ресурсов БПТ, являющейся нормативно-правовым и плановым документом, регламентирующим хозяйственную и природоохранную деятельность.

\* \* \*

Все проведенные многоэтапные картографические исследования укладываются в единую систему географического прогнозирования и создают новую фундаментальную научную базу для разработки рекомендаций по оптимизации природопользования в Прибайкалье в рамках реализации экологической политики [Основы государственной политики..., 2012]. В основу всех предлагаемых мероприятий заложены оценки современного состояния геосистем Байкальской Сибири. При этом были учтены все ранее обозначенные экологические риски, возникающие при антропогенных нарушениях геосистем.

Ландшафтная структура Байкальской Сибири характеризуется большой сложностью как по набору природных комплексов, так и по степени их контрастности. Здесь размещены Южно-Сибирские, Байкало-Джугджурские, Среднесибирские и Центрально-Азиатские геосистемы. Они вносят разнообразие в ландшафтную структуру, придают ей ярко выраженную природную специфику и контрастность. Сложная структура геосистем зависит от высоты местности, экспозиции склонов, расчлененности рельефа, мерзлотных условий, экзогенных процессов, густоты гидрологической сети, прихода и расхода солнечной энергии, антропогенных воздействий. Территория Прибайкалья рассматривается как экотонная территория, находящаяся на границе таежной и степной ландшафтных зон, а также на трансконтинентальном долготном рубеже влияния основных генераторов климата Евразии – Атлантического и Тихого океанов.

В 1996 году на 20-й сессии Комитета всемирного наследия ЮНЕСКО (г. Мерида, Мексика) озеро Байкал было включено в Список объектов всемирного наследия, таким образом, Байкал официально стал достоянием мирового сообщества, а Правительство РФ приняло на себя обязательство о сохранение экосистемы озера в естественном виде на международном уровне.

В целях охраны уникальной экологической системы озера Байкал был принят Федеральный закон «Об охране озера Байкал», в соответствии с которым на БПТ установлен особый режим хозяйственной и иной деятельности, запрещающий или ограничивающий виды деятельности, при осуществлении которых оказывается негативное воздействие на озеро Байкал. На основании данного закона издаются иные правовые акты Российской Федерации, направленные на охрану природы и сохранение природных ресурсов Байкальского региона.

Однако, за последние десятилетия произошло увеличение антропогенного воздействия на БПТ, что привело к ухудшению состояния экосистемы озера Байкал, для исправления сложившейся ситуации требуется принятие неотложных мер, связанных с сохранением, защитой экосистемы, снижением антропогенного воздействия на окружающую среду.

Рекомендации по экологической оптимизации природопользования с целью сохранения экологического потенциала геосистем Прибайкалья определяются главными направлениями природоохранной деятельности, а именно, особым сохранением коренных и восстановление нарушенных геосистем, регулируемое и экологически ориентированное использование растительности как самого критичного компонента геосистем, меры по противопожарной охране. Каждое из указанных направлений природоохранной деятельности включает целый ряд конкретных мероприятий, важных для сохранения уникальных геосистем Байкальской Сибири.

Предлагаемые для учета при природопользовании различные аспекты экологического потенциала полностью соотносятся с задачами



государственной политики экологического развития применительно к конкретной сибирской территории. Особенно это актуально для БПТ, где природопользование должно осуществляться с учетом сохранения уникальной экосистемы оз. Байкал. Здесь экологический потенциал геосистем всех экологических зон БПТ как участка всемирного наследия ЮНЕСКО особенно значим и его необходимо учитывать при всех видах хозяйственной деятельности. Это касается не только уникального ландшафтного разнообразия ЦЭЗ БПТ, но и важных средоформирующих и средозащитных функций в других экологических зонах – атмосферного влияния и буферной.

## Заключение

Для достижения поставленных в диссертации целей - Разработка научно-методологических основ оценки экологического потенциала геосистем, совершенствование информационных основ и развитие геоинформационных методов оценки и моделирования динамики, нарушенности и экологического потенциала геосистем с учетом особенностей их местоположения, разработка методов прогнозно-динамического картографирования геосистем, создание предложений по оптимизации природопользования на основе учета экологического потенциала геосистем региона - последовательно решено несколько задач:

- проведен анализ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации и экологической политики в Байкальском регионе;

- определена природная и социальная сущность экологического потенциала геосистем как основы рационального природопользования;

- рассмотрена эволюция природного процесса в Байкальской Сибири в голоцене как основы формирования природного экологического потенциала геосистем;

- для определения устойчивости геосистем Байкальского региона ранга геомов рассчитаны количественные показатели и установлены диапазоны значений (оптимальный, субоптимальный, пессимальный) для всех факторов, в пределах которых геосистема способна сохранять характерные для нее структурные и функциональные особенности;

- проанализировано применение различных алгоритмов классификаций геоизображений при геоинформационном моделировании современного состояния лесной растительности геосистем;

- предложена и апробирована методика геоинформационного моделирования лесной растительности геосистем, предполагающая совместное использование индексов NDVI и NDWI, цифровой модели рельефа, методов алгебры логики (дерево решений);

- разработана и реализована методика прогнозно-динамического картографирования лесов на различных уровнях организации геосистем, показаны возможности вариантных расчетов для оценки воздействия планируемых хозяйственных мероприятий на природную среду;
- на основе методов ландшафтно-интерпретационного картографирования созданы прогнозно-динамические карты типов леса на территорию ключевого участка в Северном Приангарье на период 50 и 100 лет;
- проведена картографическая оценка антропогенной нарушенности растительности геосистем Байкальской Сибири на основе данных об очагах нарушений, полученной по материалам дистанционного зондирования и информации о типах растительного покрова ESA GlobCover 2009;
- проведена количественная оценка вертикального и горизонтального сдвига верхней границы леса на Байкальском хребте за последние полвека, связанного с возможными последствиями глобального изменения климата;
- предложен новый подход к изучению и картографированию восстановительных сукцессий залежных земель, проведен картографический анализ динамики категорий земель за последние сто лет на основе анализа карт, составленных Корпусом военных топографов и данных дистанционного зондирования;
- создана ландшафтная карта Байкальской Сибири на основе синтеза данных дистанционного зондирования высокого и среднего пространственного разрешения, цифровой модели рельефа, цифровых данных о состоянии растительности и климата;
- проведена оценка экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири с использованием GRID-моделирования и метода анализа иерархий;
- на примере разработки методики территориального планирования и научного обоснования экологической допустимости размещения объектов хозяйственной деятельности в центральной экологической зоне Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ) предложены конкретные мероприятия по

оптимизации природопользования в Байкальской Сибири на основе учета экологического потенциала геосистем региона.

По результатам исследования сделаны следующие основные выводы.

1. Байкальская Сибирь представляет собой уникальный в природно-ландшафтном отношении регион в центральной части субконтинента Северной Азии. Здесь проходят границы трех физико-географических областей – Среднесибирской, Южносибирской и Байкало-Джугджурской, имеющих свои особенности развития ландшафтно-географических процессов, и определяющие современный природный экологический потенциал геосистем.

Байкальская Сибирь обладает громадными запасами различных природных ресурсов, промышленное освоение которых непрерывно возрастает, формируя сложные экологические проблемы. Низкий потенциал устойчивости геосистем этого региона к антропогенным нарушениям, замедленные процессы самовосстановления, определяющиеся суровостью природных условий, создают большое количество экологических ограничений в области природопользования, связанных с качеством окружающей среды и экологической безопасностью населения, с сохранением биологического разнообразия территорий, а также с формированием основ их устойчивого эколого-экономического развития.

2. Необходимость экологической рационализации природопользования в Байкальской Сибири обусловлена не только освоением природных ресурсов, определяющих в настоящее время и в будущем основные направления природопользования, существенно затрагивающие природные процессы в регионе и снижающие экологический потенциал геосистем, но и особыми природными условиями региона, а также особым правовым статусом БПТ, связанным с включением озера Байкал в список Участков всемирного природного наследия в 1996 году, Федеральным законом «Об охране озера Байкал» [1999], международными конвенциями, регулирующими отношения в области охраны окружающей среды, ратифицированных Правительством РФ [Конвенция о водно-болотных

угодьях, имеющих международное значение, главным образом, в качестве местообитаний водоплавающих птиц, 1971; Конвенция об охране всемирного природного и культурного наследия, 1972; Конвенция о биологическом разнообразии, 1992; и др.].

В сложившихся условиях экологическая оптимизация природопользования на основе учета экологического потенциала геосистем должна стать основной парадигмой концепции природоохранной деятельности в Байкальской Сибири.

3. Современное представление об экологическом потенциале геосистем опирается на конструктивное объединение двух подходов к его оценке - природоцентрического и антропоцентрического, с основным акцентом на первый, что позволяет обеспечить рациональное экологически ориентированное природопользование и предупреждение экологических рисков.

Экологический потенциал - совокупность естественных свойств природных систем, особенностей их структурно-функциональных внутренних и внешних связей, сформировавшихся в ходе эволюционного развития природной среды и определяющие их дальнейшее естественное развитие, а также обеспечивающие жизненные потребности человека при сохранении максимально возможных структурно-функциональных параметров геосистемы.

4. Экологический потенциал геосистем зависит как от ее природных свойств, так и от направления и форм существующего хозяйственного использования. Он рассматривается с социально-экономической, хозяйственной, функциональной точек зрения, например, как способность геосистем удовлетворять рекреационные, сельскохозяйственные, градостроительные и прочие потребности общества.

По отношению к каждой функции геосистема характеризуется определенным природным потенциалом - способностью выполнять эту функцию, сохраняя при этом свою структуру и природные особенности. В отличие от функции геосистемы, которая задается ей извне, можно сказать

«навязывается» обществом, экологический потенциал - ее внутреннее, естественное свойство, которое геосистема имеет по отношению к любой функции независимо от того выполняет она ее в данный момент или нет.

5. Природный, или базовый, экологический потенциал – это совокупность вещественно-энергетических ресурсов и свойств естественной геосистемы, обеспечивающих ее максимально возможные структурно-функциональные параметры (энергетические, организационные, водорегулирующие и т.д.) и полезные функции (ресурсные, производственные, средозащитные, рекреационные и т.д.), которые могут быть использованы человеком.

Учитываться должны именно максимально возможные структурно-функциональные параметры и полезные функции геосистемы, а не оптимальные. Оптимальность всегда связана с особенностью антропоцентричности и определяется с позиции пользы для человека или удовлетворения его потребностей. В разных экономических условиях и при разной степени развития общества этот показатель будет различным, и определять его будут, исходя из потребительских потребностей, а не с «пользы» для самой геосистемы.

6. Остаточный (реальный) экологический потенциал геосистемы - совокупность ее вещественно-энергетических ресурсов и свойств, сложившихся под влиянием хозяйственной деятельности и определяющих ее современные структурно-функциональные параметры и полезные функции. Его оценка необходима для определения потенциальных возможностей производных и антропогенно-измененных геосистем для производственных нужд. Вещественно- энергетической базой остаточного экологического потенциала геосистемы является природный экологический потенциал геосистемы, на месте которой (например, в результате пожара или рубок главного пользования) возникла производная геосистема - другой структуры и с другими вещественно-энергетическими свойствами.

8. Основным методом исследования и оценки экологического потенциала является картографическое моделирование с созданием

универсальных и специальных карт на основе современных геоинформационных технологий. Основой выявления экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири является карта геосистем региона в обзорно-справочном масштабе (1: 2 500 000), опирающаяся на принципы многоступенчатой регионально-типологической и структурно-динамической классификации геосистем, предложенных академиком В.Б. Сочавой. Карта отражает основное структурно-динамическое разнообразие геосистем региона в системах их географо-генетической пространственных структур, с указанием основных факторов, определяющих их природный экологический потенциал.

7. Картографирование эффективно на всех этапах географического прогнозирования. Выделяются универсальные и специальные (оценочные и прогнозно-рекомендательные) карты. С программно-целевых позиций географическое прогнозирование следует рассматривать как единый сложный многоэтапный картографический процесс, имеющий свою логику и структуру.

На первом, инвентаризационном этапе центральное место в прогнозно-географических исследованиях занимает изучение пространственной и динамической структуры геосистем региона. Наиболее эффективно на данном этапе универсальное ландшафтное картографирование, опирающееся на принципы структурно-динамической и типологической классификации геосистем, разработанных академиком В.Б. Сочавой. Основа этого подхода заключается в оценке дифференциации географической среды в пределах ее целостных подразделений, обладающих устойчивостью на определенный отрезок времени и в то же время подверженных непрерывным естественным и антропогенным изменениям.

9. Структура геосистем Байкальской Сибири характеризуется большой сложностью, как по набору природных комплексов, так и по степени их контрастности. Региональный классификационный диапазон охватывает геосистемы, присущие разным субконтинентам Азии, отражает их взаимопроникновение и является уникальным ландшафтно-ситуационным

примером сибирской природы в пределах Северной Азии. Четко выступает ландшафтообразующее влияние рельефа, сказывающееся в высотно-поясных различиях, проявлении подгорных местоположений и вертикальной внутризональной дифференциации возвышенных плато и равнин. Котловинные и подгорные эффекты при значительном колебании высот приводят к разнообразию и контрастности природных условий. Все это вносит разнообразие в ландшафтную структуру Байкальской Сибири, придают ей ярко выраженную природную специфику и контрастность.

10. Оценочный этап изучения экологического потенциала прогнозно-картографических исследований опирается на ДДЗ, информацию о состоянии растительности, на универсальную карту геосистем. Все это является информационной базой при составлении специальных оценочных карт в сопряженном масштабе. Содержание таких карт определяется задачами получения необходимой информации об особенностях геосистем, необходимых для дальнейшей разработки прогнозов и получения объективных результатов. К числу таких важных характеристик геосистем относятся показатели ее состояния и нарушенности, ее экологического потенциала, а также степень ее естественной и антропогенной устойчивости.

11. Развитие компьютерных технологий позволяет упростить процедуры выявления и распознавания объектов местности на космических снимках и перейти от визуального дешифрирования к автоматизированному, что ускоряет проведение географического анализа изображений. Опыт автоматизированного распознавания ДДЗ показывает, что заранее практически невозможно установить, какой алгоритм будет лучше с точки зрения соотношения точности классификации и полноты данных. Использование зависимости между отношением растительных сообществ к фактору увлажнения и их спектральным характеристикам, с учетом использования ЦМР позволяют путем интерполяции картировать территории неохваченные наземными исследованиями. Такого рода исследования не только дают возможность создавать весьма богатые по содержанию



тематические карты, но и позволяют улучшать достоверность интерпретации спутниковой информации.

12. Геоинформационное моделирование представляет собой основу для системной оценки растительности геосистем: ресурсной, средоформирующей, средозащитной и др., что в дальнейшем может выступать в качестве базиса для оценки экологического потенциала территории. Создаваемые карты растительного покрова отражают основное структурно-ценотическое разнообразие растительного покрова изучаемого региона и могут служить основой для выявления причин и путей развития растительности в условиях естественной и антропогенной динамики. Результаты исследования показывают, что геоботаническое картографирование на основе геоинформационных технологий имеет важное значение при проведении комплексных географических работ, центральным моментом которых является оценка современного состояния растительности и экологического потенциала геосистем.

13. Совместное использование результатов обработки разновременных космических снимков и цифровой модели рельефа позволяет проводить количественную оценку вертикального и горизонтального сдвига верхней границы леса в горах Южной Сибири, связанного с возможными последствиями глобального потепления. На основе предложенной методики получены современные данные о динамике верхней границы леса на Байкальском хребте за последние полвека.

Изменение климата ведет к трансформации в высокогорьях структуры горно-лесных, горно-степных, гольцовых, горнотундровых, нивально-гляциальных геосистем и, соответственно, к изменению экологического потенциала геосистем. Все это наблюдается как смещение границы многолетней мерзлоты на север, подъем верхней границы леса в горах, расширение границы распространения древесной растительности, отступление ледников, уменьшение площади гольцовых геосистем, и подтверждает, что именно динамика геосистем является основным фактором (механизмом) формирования или изменения экологического потенциала геосистем.

14. На основе разработанной методики с применением принципов GRID-моделирования и метода анализа иерархий, использованием рассчитанных данных в виде регулярных сетей (абсолютная высота, крутизна и экспозиция склонов, среднегодовые осадки, средняя температура января, средняя температура июля, значения вегетационных индексов NDVI и EVI, первичной биологической продуктивности) построены специальные оценочные карты и определены весовые коэффициенты основных факторов формирования экологического потенциала геосистем Байкальской Сибири.

С использованием специальных оценочных карт природных условий и экологического потенциала геосистем появляется возможность дать общее представление об условиях существования в них людей, создать естественнонаучную основу для разумной региональной экологической политики.

15. Устойчивость геосистем - способность геосистем при внешнем воздействии сохранять свое состояние неизменным в течение определенного интервала времени, восстанавливать свое исходное состояние после возмущения и способность переходить из одного состояния в другое, сохраняя за счет этого инвариантные черты структуры, что является фактором и условием формирования экологического потенциала геосистем как совокупности природных ресурсов и условий, а также ассимиляционных возможностей геосистемы, обеспечивающих потребности населения во всех необходимых первичных средствах существования, при сохранении структурно-функциональных параметров геосистемы.

Количественно устойчивость геосистем определяется шириной диапазона между максимальным и минимальным значением факторов, в пределах которого геосистема способна сохранять характерные для нее структурные и функциональные особенности. Устойчивость геосистем является фактором и условием формирования экологического потенциала геосистем как совокупности природных ресурсов и условий, а также ассимиляционных возможностей геосистемы, обеспечивающих потребности

населения во всех необходимых первичных средствах существования, при сохранении структурно-функциональных параметров геосистемы.

16. Системные блоки оценки и прогнозирования динамики таежных геосистем учитывают возможности современных ГИС-технологий, позволяющих на единой основе интегрировать накопленные эколого-географические знания, разработанные ранее математические модели и методы решения задач дешифрирования космических снимков для прогнозирования динамики геосистем и оптимального управления лесопользованием и перейти к созданию интеллектуальной гибридной геоинформационной системы на основе подсистемы математического моделирования и системы автоматизации логических рассуждений (системы искусственного интеллекта).

17. Функциональные возможности интеллектуальной гибридной ГИС с подсистемой математического моделирования и системой автоматизации логических рассуждений (системы искусственного интеллекта) реализуют идею прогнозного и интерпретационного картографирования. Прогнозное многоуровневое картографирование обеспечивает создание (отображение геосистем) и использование (исследование геосистем) карт для комплексного географического прогнозирования. При прогнозном картографировании оба метода находятся в тесном взаимодействии, что наиболее ярко проявляется в процессе математико-картографического моделирования. Интерпретационное картографирование основано на извлечении новых знаний из классификационной позиции каждого выдела, например, отнесение ландшафтной фации к восстановительному ряду конкретного типа леса позволяет судить о динамике и времени формирования лесных сообществ, о периодах доминирования определенных элементов леса, оказывающее эдификаторное и регуляционное воздействие на внутриценотическую среду и биогеоценотические процессы.

18. Изучение и картографирование восстановительных сукцессий залежных земель Забайкалья с использованием современных геоинформационных технологий, разновременных значений NDVI на основе

снимков высокого разрешения и материалов экспедиционных исследований позволило выявить в Забайкалье 5 стадий восстановительных сукцессий сосновых лесов на залежах на бывших сельскохозяйственных землях.

Полученная информация о составе и динамике современного растительного покрова, выраженная посредством картографического ГИС-моделирования представляет собой основу для системной оценки растительности и может использоваться в сфере лесовосстановления, мониторинга динамических процессов в лесах и организации охраны их фиторазнообразия, выступать в качестве базиса для оценки природного и остаточного экологического потенциала территории

19. Выявление особенностей развития ландшафтно-географических процессов, определяющих современный природный экологический потенциал геосистем, важно для прогнозных построений; такие показатели оценки находят свое отражение на специальных оценочных и индикационных картах.

Специальные (оценочные, индикационные, ресурсные и т.п.) карты, составленные с помощью геоинформационных методов и разработанных методик моделирования, учитывающих эволюционно-генетический и динамический статус геосистем и их компонентов, состояние отдельных структурных компонентов геосистем, степень их нарушенности, характеристики устойчивости к антропогенным воздействиям, отражают, прежде всего, современное состояние эволюционного потенциала геосистем.

20. С использованием данных Landsat Forest-Cover Change (LFCC 1990-2000, LFCC 2000-2005), высокодетальной карты глобальных изменений лесного покрова в XXI веке (High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change), глобальной карты типов растительного покрова ESA GlobCover 2009 проведена картографическая оценка антропогенной нарушенности растительности геосистем, что является наиболее эффективным методом для определения вторичного экологического потенциала и решения многих вопросов охраны природной среды и рационализации использования биотических ресурсов Байкальской Сибири.

Степень антропогенной нарушенности растительности определялась по критериям отклонения состава и структуры растительных сообществ от их коренного состояния.

21. Прогнозирование является необходимым и важным элементом эффективного управления любым сложным экономическим, социальным или природным процессом, или явлением. Степень совершенства методов прогнозирования и получения обоснованных результатов в значительной мере определяет достижение поставленных целей. Прогнозирование широко используется в системе природопользования, что, естественно, требует своего научно-методического обеспечения.

Выявление, оценка и прогнозирование экологического потенциала геосистем образуют единый многоэтапный процесс географического прогнозирования, объединенный общей целью формирования научного обоснования экологически ориентированного природопользования в регионе с учетом его природно-географических особенностей.

22. Происходящая смена подходов к природопользованию и управлению природными ресурсами требует пересмотра принципов организации информационного обеспечения принятия решений. Формирование политики использования лесных ресурсов, сохраняющей разнообразие животного и растительного мира при обеспечении необходимого объема лесозаготовок - одна из важнейших задач управления регионом, особенно таким многолесным как Иркутская область. Принимаемое решение зависит от объема и качества информации, предоставляемой лицу, его принимающему. Одним из видов такой информации выступают компьютерные прогнозы развития лесных ресурсов в среде гибридной интеллектуальной ГИС как результат реализации того или иного гипотетического решения, наглядно демонстрируя прогнозируемые изменения, позволяя сравнивать результаты разных стратегий управления, оценивать ожидаемые доходы и ущербы.

В целом данная система должна способствовать обеспечению управленческой деятельности, необходимой для эффективной защиты и

рационального использования лесов, учета экологических факторов и местных условий хозяйствования, снижения экологических рисков природопользования.

23. При создании прогнозных динамических моделей таежных геосистем появляется возможность добиться выполнения условия однозначности решения уравнений за счет учета начальных и граничных условий решения и специфики условий географической среды. В последнем случае это осуществляется с помощью индексов среды, определяющих значения констант функциональных зависимостей параметров природной системы.

24. Особенностью прогностического этапа является его собственная оценочная составляющая, так как после создания прогнозного представления о геосистемах или растительности будущего необходимо еще и провести оценку прогноза с экологической и ресурсной позиций. Все это необходимо для разработки рекомендаций по хозяйственной деятельности, нацеленных на снижение или недопущение экологических или ресурсных нежелательных последствий. Рекомендуемые хозяйственные мероприятия должны быть направлены на максимальное восстановление нарушенной антропогенными воздействиями коренной структуры геосистем, а антропогенные нагрузки не должны препятствовать ее естественной динамике.

25. Анализ современного состояния исполнения норм законодательного обеспечения охраны и использования природных ресурсов БПТ выявил отсутствие согласованной политики федеральных, региональных и муниципальных властей. В отношении охраны озера Байкал и БПТ сформирована определенная экологическая политика. Многочисленные постановления директивно ввели новую региональную форму природопользования – особый режим пользования природными ресурсами в бассейне озера Байкал, а особенно в ЦЭЗ БПТ. Федеральный Закон «Об охране озера Байкал» предусматривает особый режим хозяйственной и иной деятельности, осуществляемой в соответствии с принципами: приоритета видов деятельности, не приводящих к нарушению

уникальной экологической системы оз. Байкал; учета комплексности воздействия хозяйственной деятельности; сбалансированности решения социально-экономических задач и задач охраны экосистемы оз. Байкал; обязательности государственной экологической экспертизы; запрещения или ограничения видов деятельности, оказывающих негативное воздействие на экосистему оз. Байкал.

В настоящее время реально запущены лишь механизмы запретительного и ограничительного характера, наименее реализован принцип сбалансированности социально-экономического и экологического развития.

26. Особенности государственной экологической политики неразрывно связаны со спецификой экономического, социального, политического, культурного развития общества. Большое влияние на экологическую политику государства оказывают такие факторы, как экономическая и социальная стабильность, темпы развития производства, масштабы природопользования, уровень экологической культуры населения и т.п.

Основной целью государственной и региональной экологической политики в настоящее время является создание условий для гармоничного, сбалансированного развития природы, общества и экономики. Особый акцент должен быть сделан на признании приоритетности для общества экологических функций геосистем перед прямым использованием ее ресурсов при соблюдении баланса потребностей населения в благосостоянии и экологическом благополучии. Для оптимизации природопользования необходимо учитывать экологический потенциал геосистем, что позволит обеспечить учет баланса экологических и экономических интересов общества, создать научные предпосылки для разработки правовых природоохранных норм, экономических расчетов, научного и информационно-аналитического обеспечения охраны окружающей среды и экологической безопасности.

27. ЦЭЗ БПТ представляет собой сложную природно-хозяйственную систему с особыми физико-географическими, экологическими и социально-

экономическими условиями развития. Специфика хозяйственного освоения и использования этой территории определяется не только существующим ресурсным потенциалом и природными условиями, но и, главным образом, природоохранным законодательством, разрабатываемым на всех уровнях государственной власти (федеральном, региональном, местном) и необходимостью обеспечения устойчивого развития, установления баланса между охраной уникальной экологической системы озера Байкал и социально-экономическим развитием территории.

28. Многоэтапные картографические исследования укладываются в единую систему географического прогнозирования и создают новую фундаментальную научную базу для разработки рекомендаций по оптимизации природопользования в Прибайкалье в рамках реализации государственной экологической политики. В основу всех предлагаемых мероприятий заложены оценки современного состояния геосистем Прибайкалья, при этом были учтены экологические риски, возникающие при антропогенных нарушениях геосистем.

Рекомендации по экологической оптимизации природопользования с целью сохранения экологического потенциала геосистем Прибайкалья определяют главные направления природоохранной деятельности, а именно, особое сохранение коренных геосистем, восстановление нарушенных геосистем, регулируемое и экологически ориентированное использование растительности как самого критичного компонента геосистем, меры по противопожарной охране геосистем. Каждое из указанных направлений природоохранной деятельности включает целый ряд конкретных мероприятий, важных для сохранения уникальных геосистем Байкальской Сибири.

29. Предлагаемые для учета при природопользовании различные аспекты экологического потенциала полностью соотносятся с задачами государственной политики экологического развития, применительно к конкретной сибирской территории. Особенно это актуально для БПТ, где природопользование должно осуществляться с учетом сохранения



уникальной экосистемы оз. Байкал. Здесь экологический потенциал геосистем особенно значим и его необходимо учитывать при всех видах хозяйственной деятельности. Это касается не только уникального ландшафтного разнообразия ЦЭЗ БПТ, но и важных средоформирующих и средозащитных функций в других экологических зонах – атмосферного влияния и буферной.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### 1. Официальные документы

Конституция Российской Федерации. Принята всенародным голосованием 12.12.1993 (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ) // Собрание законодательства РФ. - 2014. - № 9. - Ст. 851.

Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц. Рамсар, 1971. [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.unesco.ru/rus/pages/Admin01122004193407.php> (дата обращения 11.03.2017).

Конвенция об охране Всемирного культурного и природного наследия. Париж, 1972. [Электронный ресурс]. - URL: <http://whc.unesco.org/archive/convention-ru.pdf> (дата обращения 11.03.2017)

Конвенция о биологическом разнообразии. Рио-де-Жанейро, 1992. [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.un.org/russian/documen/convents/biodiv.htm> (дата обращения 11.03.2017)

Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ (с изменениями на 28 ноября 2015 года) (редакция, действующая с 1 января 2016 года) // Собрание законодательства РФ. - 2006. - № 23. - Ст. 2381.

Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (с изменениями на 19 декабря 2016 года) (редакция, действующая с 1 января 2017 года) // Собрание законодательства РФ. - 2005. - № 1 (часть 1). - Ст. 16.

Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30 ноября 1994 г. № 51-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1994. - №32. - Ст. 3301.

Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ (с изменениями на 3 июля 2016 года) (редакция, действующая с 1 января 2017 года) // Собрание законодательства РФ. - 2001. - № 44. - Ст. 4147.

Кодекс внутреннего водного транспорта РФ от 7 марта 2001 г. № 24-ФЗ (с изменениями на 3 июля 2016 года) // Собрание законодательства РФ. - 2001. - №11. - Ст.1001.

Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ (с изменениями на 3 июля 2016 года) (редакция, действующая с 1 марта 2017 года) // Собрание законодательства РФ. - 2006. - № 50. - Ст. 5278.

Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 28.07.1997. - № 30. - Ст. 3589.

Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14 марта 1995 г. №33-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1995. - № 12. - Ст. 1024.

Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04 мая 1999 г. № 96-ФЗ // // Собрание законодательства РФ. - 1999. - № 18. - Ст. 2222.

Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ (с изменениями и дополнениями) // Собрание законодательства РФ. - 1999. - № 18. - Ст. 2220.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. №7-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 2002. - № 2. - Ст. 133.;

Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 21.07.2014 № 219-ФЗ // Российская газета. – 2014. - Федеральный выпуск №6438 (166)

Федеральный закон «О животном мире» от 24 апреля 1995 г. № 52-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1995. - № 17. - Ст. 1462.

Федеральный закон «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» от 6 октября 1999 г. № 184-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1999. - № 42. - Ст. 5005.

Федеральный закон «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» от 6 октября 2003 г. № 131-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 2003. - № 40. - Ст. 3822.

Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24 июня 1998 г. №89-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1998. - № 26. - Ст. 3009.

Федеральный закон «Об экологической экспертизе» от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1995. - № 48. - Ст. 4556.

Указ Президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 г. № 440 «Об утверждении Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» // Собрание законодательства РФ. – 1996. - № 15. - Ст. 1572.

Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537 «Об утверждении Стратегии национальной безопасности до 2020 года» (ред. от 01.07.2014) // Собрание законодательства РФ. – 2009. - № 20. - Ст. 2444

Основы государственной политики в области экологического развития РФ до 2030 года (утв. Президентом РФ 30.04.2012) // Документ опубликован не был. Текст документа использован по данным справочной правовой системы «Консультант Плюс». Версия «Проф».

Постановление Правительства РФ от 6 сентября 2000 г. № 661 «Об экологическом зонировании Байкальской природной территории и информировании населения о границах Байкальской природной территории, ее экологических зон и об особенностях режима экологических зон» (с посл. изм. и доп.) // Собрание законодательства РФ. – 2000. - № 37. -Ст. 3727

Постановление Правительства РФ от 30 августа 2001 г. № 643 «Об утверждении перечня видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» (ред. от 02.03.2015) // Собрание законодательства РФ. - 2001. - № 37. - Ст. 3687.

Постановление Правительства РФ от 28 января 2002 г. № 67 «Об

особенностях охраны, вылова (добычи) эндемичных видов водных животных и сбора эндемичных видов водных растений озера Байкал» // Собрание законодательства РФ. - 2002. - №5. - Ст. 533.

Постановление Правительства Российской Федерации от 21 августа 2012 г. № 847 «О федеральной целевой программе "Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012-2020 годы» // Собрание законодательства РФ. – 2012. - № 36. - Ст. 4899.

Постановление Правительства РФ от 1 июля 2016 г. № 626 «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2016 - 2017 годах» [Электронный ресурс]. - URL: <http://government.ru/docs/23720/> (дата обращения 11.03.2017).

Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 13 апреля 1987 г. № 434 «О мерах по обеспечению охраны и рационального использования природных ресурсов бассейна озера Байкал в 1987-1995 годах» // Свод законов СССР. Т. 4. с. 30-6. 1990.

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225-р «Об Экологической доктрине Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 2002. - № 36. - Ст. 3510.

Распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2006 № 1641-р «О границах Байкальской природной территории» // Собрание законодательства РФ. – 2006. - № 49. – Ст. 5256

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р «О концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года» (с изменениями и дополнениями) // Собрание законодательства РФ. - 2008. - № 47. - Ст. 5489.

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р «Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» // Собрание законодательства РФ. - 2009. - № 36. - Ст. 4362.

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 г.» // Собрание законодательства РФ. – 2009. - № 48. - Ст. 5836.

Распоряжение Президента РФ от 17 декабря 2009 г. № 861-рп «О Климатической доктрине Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 2009. - № 51. - Ст. 6305

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2012 г. № 2423-р (ред. от 10.08.2016) «Об утверждении Плана действий по реализации Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» // Собрание законодательства РФ. – 2012. - № 52. - Ст. 7561.

Распоряжение Правительства РФ от 5 марта 2015 года № 368-р «Об утверждении границ водоохранной и рыбоохранной зон озера Байкал» [Электронный ресурс]. - URL: <http://government.ru/docs/17125/> (дата обращения 11.03.2017).

Распоряжение Правительства РФ от 26 марта 2018 года № 507-р «О внесении изменений в приложение к распоряжению Правительства РФ от

05.03.2015 N 368-р» [Электронный ресурс]. - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_294677/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_294677/) (дата обращения 11.03.2017).

Приказ Госкомитета РФ по охране окружающей среды от 5 октября 1999 г. № 564 «О первоочередных мерах по реализации Федерального закона «Об охране озера Байкал» (ред. от 03.12.1999) [Электронный ресурс]. - URL: [http://www.lawrussia.ru/texts/legal\\_517/doc517a858x935.htm](http://www.lawrussia.ru/texts/legal_517/doc517a858x935.htm) (дата обращения 11.03.2017).

Приказ Госкомрыболовства РФ от 8 мая 2003 г. № 155 «Об утверждении перечня промысловых эндемичных видов водных животных озера Байкал», зарегистрированный Министерством юстиции РФ 5 июня 2003 г. № 4640 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2003. - № 38.

Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 25 апреля 2007 г. № 114 «О Межведомственной комиссии по вопросам охраны озера Байкал», зарегистрированный Министерством юстиции РФ 23 мая 2007 г. № 9532 // Российская газета. - 2007. - № 141;

Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 5 марта 2010 г. № 63 «Об утверждении нормативов предельно допустимых воздействий на уникальную экологическую систему озера Байкал и перечня вредных веществ, в том числе веществ, относящихся к категориям особо опасных, высокоопасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы озера Байкал», зарегистрированный Министерством юстиции РФ 7 июня 2010 г. № 17490. [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12076656/> (дата обращения 11.03.2017).

## 2. Научная литература

Адаменко О.М., Долгушин И.Ю., Ермолов В.В., Исаева Л.Л., Козловская С.Ф., Леонов Б.Н., Цейтлин С.М. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока // Плоскогорья и низменности Восточной Сибири. - М.: Наука, 1971. - 320 с.

Арманд Д.Л. Наука о ландшафте (Основы теории и логико-математические методы). – М.: Мысль, 1975. – 288 с.

Арманд А. Д. Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различным типам внешних воздействий // Устойчивость геосистем. - М.: Наука, 1983. - С. 14–32.

Арсеньев А.А., Буфф Л.С., Лейтес А.М. Геологическое строение Читинской области: Краткий очерк. - М.: Изд-во АН СССР, 1958. - 105 с.

Байкал: природа и люди: энциклопедический справочник / Отв. ред. А. К. Тулохонов. – Улан-Удэ: ЭКОС: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. – 608 с.

Бакланов П.Я. Динамика природно-ресурсного потенциала территории и методы ее оценки // География и природные ресурсы. - 2000. - № 4. - С. 10-16.

Бардунов Л.В. Третичные реликты во флоре мхов Прибайкалья // Научные чтения памяти Михаила Григорьевича Попова (5-е чтение). – Иркутск:

Иркутское кн. изд-во, 1963. - С. 48–82.

Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Потапов П.В., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю. Карта лесов Российской Федерации, окрашенная по преобладающим группам пород деревьев и сомкнутости древесного полога. Масштаб 1: 14 000 000. - М.: ИКИ РАН, 2004. - 1 л.

Башалханова Л.Б, Буфал В.В., Русанов В.И. Климатические условия освоения котловин Южной Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. - 158 с.

Бауэр Л., Вайничке Х. Забота о ландшафте и охрана природы. - М., - М.: Прогресс, 1971. - 264 с.

Бездедова А.П., Огуреева Г.Н. Западнозбайкальский тип поясности гор Южной Сибири // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 1986. - № 1. - С. 74-80.

Безрукова Е.В. Палеогеография Прибайкалья и Забайкалья в позднеледниковье и голоцене. - Новосибирск: Наука, 1999. - 28 с.

Безрукова Е.В., Белов А.В. Эволюция растительности на северо-востоке Лено-Ангарского плато в средне-позднем голоцене // География и природные ресурсы. – 2010. – № 1. – С. 90-98.

Безрукова Е.В., Белов А.В. Феномен изменения природной среды Байкальского региона в среднем голоцене: причины и последствия // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. - Т. 1. - № 57-1. – С. 30-36.

Безрукова Е.В., Белов А.В., Летунова П.П., Кулагина Н.В. Отклик природной среды Ангаро-Ленского плато на глобальные изменения климата в голоцене // Геология и геофизика. – 2014. - Т. 55, № 4. - С. 594-604.

Белов А.В. Принципы и методы составления среднемасштабной карты растительности Северного Прибайкалья с использованием аэрокосмических материалов // Геоботаническое картографирование. - Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1984. - С. 9-20.

Белов А.В. Картографирование растительности и эколого-географические проблемы юга Восточной Сибири: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук: 25.00.23. - Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2003. - 49 с.

Белов А.В., Безрукова Е.В., Соколова Л.П., Абзаева А.А., Летунова П.П., Фишер Е.Э., Орлова Л.А. Растительность Прибайкалья как индикатор глобальных и региональных изменений природных условий Северной Азии в позднем кайнозое // География и природные ресурсы. – 2006. – №3. – С.5-18.

Белов А.В., Безрукова Е.В., Соколова Л.П. Эволюционно-динамическое картографирование растительности Сибири для целей прогнозирования // География и природные ресурсы. - 2008. - №1. – С. 10-21.

Белов А.В., Белова В.А. Основные этапы развития растительности Средней Сибири в позднем кайнозое // История растительного покрова Северной Азии. - Новосибирск: Наука, 1984. - С. 42-56.

Белов А.В., Владимиров И.Н., Соколова Л.П. Картографическая оценка

состояния современной растительности Предбайкалья для оптимизации природопользования // География и природные ресурсы. - 2016. - № 2. - С. 62-68.

Белов А.В., Соколова Л.П. Проблемы картографического изучения нарушенности растительности // География и природные ресурсы – 1999. – №3. – С. 13-17.

Белов А.В., Соколова Л.П. Устойчивость растительности в системе геоботанического прогнозирования // География и природные ресурсы. – 2008. - № 2. – С. 29-40.

Белов А.В., Соколова Л.П. Социально-экономическая роль растительности в картографическом обосновании рационального природопользования в системе геоботанического прогнозирования // География и природные ресурсы. - 2009. - № 2. – С. 25-33.

Белов А.В., Соколова Л.П. Функциональная организация растительности в системе картографического прогнозирования // География и природные ресурсы. - 2009. - № 1. – С. 11-18.

Белов А.В., Соколова Л.П. Системная оценка растительности при выявлении рекреационного потенциала территории (на примере западного побережья Байкала) // География и природные ресурсы – 2010. – №3. – С. 44-55.

Белов А.В., Соколова Л.П. Естественная устойчивость растительности геосистем юга Средней Сибири // География и природные ресурсы. – 2011. - № 2. – С. 12-23.

Белов А.В., Соколова Л.П. Некоторые аспекты экологических рисков природопользования на юге Байкальской Сибири // География и природные ресурсы. – 2012. - № 4. – С. 90-97.

Белов А.В., Соколова Л.П. Экологический потенциал растительности как фактор природопользования в Байкальской Сибири // География и природные ресурсы. - 2014. - № 3. - С.53-60.

Белов А.В. Соколова Л.П. Новая обзорно-справочная карта растительности Байкальского региона // Геоботаническое картографирование. - 2015. - СПб., 2015. - С. 22-41.

Белова В.А. История развития растительности котловин Байкальской рифтовой зоны. - М.: Наука, 1975. - 142 с.

Белова В.А. Растительность и климат позднего кайнозоя юга Восточной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1985. - 159 с.

Белозерцева И.А., Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Лопатина Д.Н., Янчук М.С. Загрязнение атмосферы и содержание фтора в снеге на акватории оз. Байкал // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. - [Электронный ресурс]. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22004> (дата обращения: 11.03.2017).

Беньков А.В., Рыжкова В.А. Оценка и моделирование динамики южнотаежных сосняков Средней Сибири // Лесоведение. - 2001. - №1. - С. 3-12.

Бех И.А. Антропогенная трансформация таежных лесов. - Новосибирск: Наука, 1992. - 200 с.

Бех И.А., Данченко А.М. Проблема устойчивости в лесоведении // Вестник Томского гос. ун-та. - 2007. - № 295. - С. 215-219.

Бобров Е.Г. История и систематика лиственниц. - Л.: Наука, 1972. - 95 с.

Боголюбов С.А. Реализация экологических положений Конституции Российской Федерации // Право. Журнал Высшей школы экономики. - 2013. - № 4. - С. 4-16.

Борисов А.Б. Большой экономический словарь. - М.: Книжный мир, 2003. - 895 с.

Боярская Т.Д., Малаева Е.М. Развитие растительности Сибири и Дальнего Востока в четвертичном периоде. - М.: Наука, 1968. - 199 с.

Буфал В.В. Радиационный режим котловины оз. Байкал и его роль в формировании климата // Климат озера Байкал и Прибайкалья. - М.: Наука, 1966. - С. 34-71.

Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. - Л.: Гидрометеиздат, 1956. - 250 с.

Будыко М.И. Климат и жизнь. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 472 с.

Быков, И.П. Влияние типа почв на биоразнообразие и продуктивность залежных фитоценозов /И.П. Быков, Г.Г. Куликов, О.Ю. Давыдова // Проблемы интродукции растений в Байкальской Сибири: Материалы регионального научно-практического семинара - Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2003. - С. 72-75.

Васенькина Е.Ю. Экономическая оценка и районирование природного потенциала ландшафтов (на примере Республики Бурятия) // География и природные ресурсы. - 2007. - № 4. - С. 109-116

Величко А.А. Природный процесс в плейстоцене. - М.: Наука, 1973. - 256 с.

Величко А.А. Палеогеография, современное состояние природной среды и прогноз // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода АН СССР. - М.: Наука, 1980. - № 50. - С. 12-23.

Вернадский В.И. Биосфера. - Л.: Науч.-хим.-техн. изд-во, 1926. - 146с.

Вильямс В.Р. Собрание сочинений. Т.3. Земледелие (1892-1919) / В. Р. Вильямс; Ред. В. П. Бушинский, Ред. Т. Д. Лысенко, Ред. М. Г. Чижевский. - Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1949. - 568 с.

Вильямс В.Р. Собрание сочинений. Т.6. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения (1927-1938) / В.Р. Вильямс; Ред. В.П. Бушинский, Ред. Т.Д. Лысенко, Ред. М.Г. Чижевский. - Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1951. - 576 с.

Винокуров Ю.И., Ротанова И.Н., Черных Д.В. Геосистемы-индикаторы в изучении естественных и антропогенных изменений горных ландшафтов // Труды XII съезда Русского географического общества. - Т. 2. - СПб.: Издательство РГО, 2005. - С. 104–108.

Владимиров И.Н. Динамика лесных ресурсов Иркутской области:



ретроспективный анализ и прогноз // Природно-ресурсный потенциал Азиатской России и сопредельных стран: пути совершенствования использования: Материалы международной научной конференции (Иркутск, 11-13 сентября 2002 г.). - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. - С. 68-69.

Владимиров И.Н. Однозначность прогнозных динамических моделей как географическая проблема // География: новые методы и перспективы развития: Материалы XV конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2003. - С. 155-157.

Владимиров И.Н. Динамика таежных геосистем Предбайкалья: моделирование и прогнозирование: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук: 25.00.23. – Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2004. - 24 с.

Владимиров И.Н. Моделирование и прогнозирование динамики геосистем: синтез методов математического моделирования, дистанционного зондирования и геоинформатики // Сборник статей молодых ученых Иркутского научного центра Сибирского отделения РАН. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. – С. 4-6.

Владимиров И.Н. Геоинформационное моделирование лесной растительности Северо-Западного Прибайкалья (опыт применения алгоритмов классификации геоизображений) // Геодезия и картография. - №9. – 2012. – С. 30-35.

Владимиров И.Н. Динамика верхней границы леса на Байкальском хребте // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». - 2014.- Т. 10 – С. 46-57.

Владимиров И.Н. Геоинформационное моделирование экологического потенциала Байкальской Сибири // Геоинформатика. – 2015. - № 3. – С. 12-18.

Владимиров И.Н. ГИС-моделирование антропогенной нарушенности и восстановительной динамики растительности геосистем Предбайкалья //Атласное картографирование: традиции и инновации / Материалы X научной конференции по тематической картографии (г. Иркутск, 22-24 октября 2015 г.). - Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН Иркутск, 2015а. - С. 158-160.

Владимиров И.Н. Антропогенная нарушенность и динамика геосистем Байкальской Сибири // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. – 2018. - № 1 (6). – С. 19-31.

Владимиров И.Н. Новые методические подходы к картографированию геосистем (на примере геосистем Байкальской Сибири) // Геодезия и картография. – 2018а. – Т. 79. – № 7. – С. 23-34.

Владимиров И.Н., Богданов В.Н., Плюснин В.М. Экологическое состояние Центральной экологической зоны Байкальской Природной территории // Экологический атлас бассейна оз. Байкал. – Иркутск: Типография ООО «Форвард», 2015. - С. 144.

Владимиров И.Н., Заборцева Т.И. Экологические и социальные условия

обеспечения устойчивого развития центральной экологической зоны Байкальской природной территории // Запад и Восток: пространственное развитие природных и социальных систем. Материалы международной научно-практической конференции (г. Улан-Удэ, 19- 23 сентября 2016 года) – Улан-Удэ, 2016. – С. 99-103.

Владимиров И. Н., Корытный Л. М., Плюснин В. М., Сороковой А. А. Исследования Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН на Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. - 2016. - № 5 S. - С. 6-14.

Владимиров И.Н., Сороковой А.А., Кобылкин Д.В. Геоинформационное картографирование современного состояния лесной растительности на основе данных дистанционного зондирования и наземных наблюдений // Тематическое картографирование для создания инфраструктур пространственных данных / Материалы IX научной конференции по тематической картографии (Иркутск, 9-12 ноября 2010 г.). - Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2010. - Т.2 – С. 26 - 29.

Владимиров И.Н., Мясникова С.И., Черкашин А.К. Геоинформационное обеспечение оценки заболевания птичьим гриппом в регионе // Известия РАН. Серия географическая. – 2008. – №2. – С. 122-131

Владимиров И.Н., Попова А.К. Моделирование пространственно-временной динамики лесных ресурсов с использованием интеллектуальной ГИС // География и природные ресурсы. - 2009. - № 1. - С. 26-32.

Владимиров И.Н., Сороковой А.А., Выркин В.Б., Опекунова М.Ю. Районирование опасных геоморфологических процессов в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Рельеф и экзогенные процессы гор. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. – Т.1. – С. 77-81

Владимиров И.Н., Софронов А.П., Сороковой А.А., Кобылкин Д.В., Фролов А.А. Структура растительного покрова Западной части Верхнеангарской котловины // География и природные ресурсы. – 2014. - № 2. – С. 44-53.

Владимиров И.Н., Кобылкин Д.В., Холбоева С.А. Геоинформационный анализ и моделирование восстановительных сукцессий залежных земель Забайкалья // Геодезия и картография. - 2016. - №. 1 - С. 20-25.

Владимиров И.Н., Чудненко А.К. Прогнозирование пространственно-временной динамики лесных ресурсов Иркутской области с использованием ГИС-технологий // Солнце, Земля, вода и энергия / Труды Восточно-Сибирского отделения АПВН. - Вып.2. - Новосибирск: Наука, 2005. – С. 61-68.

Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. - М.: Наука, 1998. - 191 с.

Водопьянова Н.С. Флористические находки в южной части Тайшетского района // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. - 1961. - № 9, вып. 2. - С. 56 - 59.

Волкова В.С., Вогах М.Р., Белова В.А. Основные этапы изменения климата Сибири в четвертичное время // Проблемы современной палинологии. -

Новосибирск: Наука, 1984. - С. 147-153.

Волкова В.С. Волков И.А. Отложения и ландшафты сартанской стадии оледенения в низовьях р. Чулыма // Палинология Сибири. - М.: Наука. 1980. - С. 93-97.

Волкова В.С., Баранова Ю.П. Плиоцен-раннеплейстоценовые изменения климата в Северной Азии // Геология и геофизика. – 1980. – № 7. –С. 43–52.

Волкова Е.А., Федорова И.Т. Карта экологических функций растительного покрова России // Геоботаническое картографирование. – Спб: Наука, 1993. - С. 51–57.

Волкова И.Н., Приваловская Г.А. Районирование как метод совершенствования перспективного использования природно-ресурсного потенциала // Природно-ресурсный потенциал Азиатской России и сопредельных стран: геоэкологическое, геоэкономическое и геополитическое районирование / Материалы междунар. научн. конф. (Иркутск, 9-11 сентября 2004 г.). - Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2004. - С. 16–18.

Воскресенский С.С. Геоморфология Сибири. - М.: Изд-во МГУ, 1962. – 352 с.

Выркин В.Б. Пространственная структура современного экзогенного рельефообразования в котловинах Байкальской рифтовой зоны // Симметрия рельефа: Упорядоченность в рельефе и в морфогенезе – М.: Наука, 1992. – С.172-178.

Высокогорная флора Станового нагорья: состав, особенности и генезис / Н.С. Водопьянова и др.; Отв. ред. Л.И.Малышев. – Новосибирск: Наука, 1972. – 272 с.

Гавриленко О.П. Екогеографія України: навчальний посібник. - К.: Знання, 2008. - 646 с

География Сибири в начале XXI века: в 6 т. Т. 2. Природа / Под ред. Ю.М. Семенова, А.В. Белова. - Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. - 390 с.

Геоинформационная система управления территорией / А.К.Черкашин, А.Д.Китов, И.В.Бычков и др. - Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2002. - 151 с.

Галанин А.А. Возраст последнего ледникового максимума на северо-востоке Азии // Криосфера Земли. - 2012. - Т. XVI. - № 3. - С. 39-52.

Галахов Н.Н. Климат Средней Сибири // Средняя Сибирь. - М.: Наука, 1964. - С.83-118.

Геоморфология Северного Прибайкалья и Станового нагорья / Базаров Д.-Д.Б., Резанов И.Н., Будаев Р.Ц. и др. - М.: Наука, 1981. - 199 с.

Герасимов И.П. Структурные черты рельефа земной поверхности на территории СССР и их происхождение. - М.: Изд-во АН СССР, 1959. - 120 с.

Герасимов И.П. (ред.). Предбайкалье и Забайкалье. Природные условия и естественные ресурсы СССР. - М.: Наука, 1965 - 492 с.

Герасимов И.П. Советская конструктивная география: Задачи, подходы,

результаты. - М.: Наука, 1976. – 207 с.

Гидроклиматические исследования Байкальской природной территории / Воропай Н.Н., Гагаринова О.В., Ильичева Е.А., и др. - Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. - 188 с.

Голубець М. А. Екологія. – Львів: Поллі, 2000. – 316 с.

Гомология и гомотопия географических систем // А.К. Черкашин, Е.А. Истомина, И.Н. Владимиров и др. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. – 351 с.

Горбачев С.А. Почвы Восточного Саяна. – М.: Наука, 1978. – 199 с.

Горшенин К.П. Природные условия и почвы Восточной Сибири. – Иркутск: Ирк. обл. изд-во, 1948. – 21 с.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2015 году». – Иркутск: ООО Издательство "Время странствий", 2016. – 316 с.

Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2015 году». – Иркутск: ИНЦХТ, 2016. – 372 с

Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия в 2015 году» [Электронный ресурс]. - URL: [http://minpriroda-rb.ru/activity/index.php?SECTION\\_ID=921&ELEMENT\\_ID=45690](http://minpriroda-rb.ru/activity/index.php?SECTION_ID=921&ELEMENT_ID=45690) (дата обращения 11.03.2017).

Гофман К.Г. Экономическая оценка природных ресурсов в условиях социалистической экономики. - М.: Наука, 1977. - 452 с

Григорьев А.А. Закон интенсивности физико-географического процесса // Известия ВГО. - 1943. - Т.75. - Вып.1. - С.3-13.

Григорьев А.А. Некоторые итоги разработки новых идей в физической географии // Известия АН СССР. Серия геогр. и геофиз. - 1946. - Т. 10. - № 2. - С. 139-168.

Григорьев А.А. О некоторых основных физико-географических закономерностях // Известия АН СССР. Серия географ. и геофиз. – 1937. – № 4. – С. 501–517.

Гродзинский М. Д. Устойчивость геосистем: теоретический подход к анализу и методы количественной оценки // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 1987. - № 6. - С. 5–15.

Гродзинський М.Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. - К.: Лікей, 1995. - 233 с.

Девяткин Е.В. Кайнозой внутренней Азии. - М.: Наука, 1981. - 196 с.

Дмитревский Ю.Д. О физико-географическом районировании и районировании природных ресурсов // Изв. ВГО. - 1962. - Вып. 2. - С. 159-167.

Дмитревский Ю.Д. Природный потенциал и его количественная оценка //Известия ВГО. - 1971. - Вып. 1. - С. 41-47.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. - М.: Наука, 1990. - 259 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за

2016 год. – Москва: НИУ Росгидромета, 2017. - 70 с.

Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2015 год. - [Электронный ресурс]. - URL: [http://минприр.зabayкальскийкрай.рф/u/doklad\\_2015.zip](http://минприр.зabayкальскийкрай.рф/u/doklad_2015.zip) (дата обращения 11.03.2017).

Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь / В. В. Докучаев; ред.: В.Р. Вильямс, З.С. Филиппович. – М.-Л.: ОГИЗ - Сельхозгиз, 1936. - 117 с.

Дубровский Н.Г. Степные и залежные фитосистемы Тувы: структурно-функциональная организация и оптимизация природопользования: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. БГУ. - Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2007. – 48 с.

Дубровский Н.Г., Намзалов Б.Б., Ооржак А.В. История исследования процессов восстановления естественной растительности на залежах в республике Тыва // Вестник Тувинского гос. ун-та. - 2012. - Вып. 2: Естественные и сельскохозяйственные науки. - С. 4-8.

Думитрашко Н.В. История Байкальской впадины и ее развитие в четвертичном периоде // Материалы по изучению четвертичного периода. - 1953. - Вып. 9. - С. 49–61.

Дылис Н.В., Решиков М.А., Малышев Л.И. Растительность // Предбайкалье и Забайкалье. - М.: Наука, 1965. - С.230-245.

Дьяконов К.Н., Иванов А.Н. Устойчивость и инерционность геосистемы // Вестник Московского университета. Серия 5: География. - 1991. - № 1. - С. 28-34.

Жуков В.М. Климат Предбайкалья и Забайкалья // Предбайкалье и Забайкалье. - М.: Наука, 1965. - С. 91-127.

Замана Л.В. Глубокозалегающие многолетнемерзле породы во впадинах Северного Прибайкалья // Геогриологические условия зоны Байкало-Амурской магистрали. – Якутск: Изд-во ИМ СО АН СССР, 1980. - С. 31-38.

Звонкова Т.В. Потенциальная естественная устойчивость природной среды и комплексов // Географическое обоснование экологических экспертиз. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. - С. 38-44.

Зибзеев Е.Г., Седельников В.П. Структура экотона между лесным и высокогорным поясами гор Южной Сибири // Растительный мир Азиатской России. – 2010. – № 2. – С. 46-49.

Епова Н.А. Реликты широколиственных лесов в пихтовой тайге Хамар-Дабана // Изв. Биол.-геогр. НИИ при Иркут. гос. ун-те, 1956. – Т. 16, вып. 1–4. – С. 25–61.

Епова Н.А. 1960. К истории формирования растительности Хамар-Дабана // Научные чтения памяти М.Г. Попова (1-е, 2-е чтения 1956, 1957). – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. - С. 45 –66.

Ербаева М.А., Карасев В.В., Алексеева Н.В. Новые данные по стратиграфии плиоцен-плейстоценовых отложений Забайкалья // Геология и геофизика. 2005. - Т. 46. - № 4. - С. 414–423.

Ибрагимов А.К. Об уровнях устойчивости и критическом состоянии лесных экосистем // Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и

степной зонах. - Самара: Изд-во Самар. ун-та, 1995. - С. 81–87.

Иванов Н.Н. Показатель биологической эффективности климата // Изв. ВГО. - 1962. - Т. 94, № 1. - С. 65 -70.

Игнатенко Н.Г., Руденко В.П. Природно-ресурсный потенциал территории: Географический анализ и синтез. - Львов: Вища школа, 1986. – 263 с.

Игнатъев Е.И. Содержание и методы медико-географических исследований при географическом изучении районов нового освоения Сибири и Дальнего Востока // Медико-географические исследования при решении комплексных географических проблем. Материалы к симпозиуму Второго научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. - Иркутск, 1962. - С. 5-18.

Идрисова Р.А. Основы изучения геосистем и вопросы оптимизации природопользования // Пространство экономики. - 2008. - №1-2. - С.145-150.

Иметхенов А.Б. Инженерно-геологические условия побережья // Байкал: природа и люди: энциклопедический справочник / Отв. ред. А. К. Тулохонова. – Улан-Удэ: ЭКОС: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. - С. 230-235.

Инженерная геология Прибайкалья / под. ред. Г. Б. Пальшина. - М.: Наука, 1968. - 191 с.

Исаева Л.Л. Палеогеография долины Нижней Тунгуски в четвертичное время // Проблемы изучения четвертичного периода. - М.: Наука, 1972. - С.430-436.

Исаева Л.Л., Кинд Н.В., Андреева С.М., Иваненко Г.В., Никольская М.В., Сулержицкий Л.Д., Фишер Э.Л. Геохронология и палеогеография позднего плейстоцена Северо-Сибирской низменности по радиоуглеродным данным // Геохронология четвертичного периода. - М.: Наука, 1980. - С. 191-197.

Исаченко А.Г. Оптимизация природной среды. – М.: Мысль, 1980. – 284 с.

Исаченко А.Г. Ландшафтная структура экономических районов СССР // Изв. ВГО. 1988. - Т. 120, Вып. 1. - С. 14-32.

Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. - М.: Высшая школа, 1991. - 366 с.

Исаченко А.Г. Экологический потенциал ландшафта // Изв. ВГО. – 1991а. - Т. 123, Вып. 4. - С. 305-316.

Исаченко А.Г. Ресурсный потенциал ландшафта и природно-ресурсное районирование // Изв. ВГО. - 1992. - Т. 124, Вып. 3. - С.7-14.

Исаченко А. Г. Экологическая география России. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербур. ун-та, 2001. – 326 с.

Исаченко А. Г. Введение в экологическую географию: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербур. ун-та, 2003. – 192 с.

Ишмуратов Б.М. Региональные системы производительных сил (методологические основы географического анализа). – Новосибирск: Наука, 1979. – 236 с.

Казановский С.Г., Моложников В.Н., Воронин В.И. Динамика

растительности и флоры Прибайкалья в кайнозое // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - С. 383–400.

Калмыков Н.П. Неогеновые и плейстоценовые биомы обрамления озера Байкал в зеркале заднего вида // Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты Внутренней Азии. - Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2016. - С. 149–154.

Карабанов Е.Б., Прокопенко А.А., Кузьмин М.И., Вильямс Д.Ф., Гвоздков А.Н., Кербер Е.В. Оледенения и межледниковья Сибири - палеоклиматическая запись из озера Байкал и ее корреляция с западно-сибирской стратиграфией (эпоха прямой полярности Брюнес) // Геология и геофизика. – 2001. - т.42. - № 1-2. - С.48-63

Кинд Н.В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. - М.: Наука, 1974. - 255 с.

Кирюшин В.И. Развитие представлений о функциях ландшафтов в связи с задачами оптимизации природопользования // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. - 2015. - № 80. - С. 16-25.

Кирюшин В.И. Экологические функции ландшафта // Почвоведение. - 2018. - № 1. - С. 17-25.

Кирьянов Д.В., Кирьянова Е.Н., Козлов Н.И., Кузнецов В.И., Динамические модели развития среднеширотного леса // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. - 023. - М., 2005. - 26 с.

Киселева А.А. Неморальные реликты во флоре южного побережья озера Байкал // Ботанический журнал. - 1978. - Т. 63, № 11. - С. 1647–1656.

Киселева А.А., Казановский С.Г., Верховина А.В., Дударева Н.В. Неморальные реликты в тайге Северного Присаянья // Генезис флоры и растительности Байкальской Сибири. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1999. - С. 52–58.

Клоцвог Ф.Н, Кушникова И.А Макроэкономическая оценка ресурсного потенциала российских регионов // Проблемы прогнозирования. - 1998. - № 2. - С. 116-126.

Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока // Тр. Дальневосточ. филиала АН СССР. - 1956. - Сер. бот., Т. 2. - 261 с.

Колесников Б.П. Состояние советской лесной типологии и проблема генетической классификации типов леса // Изв. СО АН СССР. Сер. бот. - 1958. - № 2. - С. 109-122.

Колесников Б.П. Некоторые вопросы развития лесной типологии// Тр. Ин-та экологии растений и животных УФ АН СССР. - 1967. - Вып. 53. - С. 3-12.

Колесников Б.П. Типы южнотаежных лесов среднего течения р. Тавды и Тавда-Куминского междуречья // Южнотаежные леса Западно-Сибирской равнины. Бассейны рек Тавды и Конды. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1972. – С. 5-21.

Коломыц Э.Г., Шарая Л.С. Методы исчисления и картографирования устойчивости лесных экосистем // Известия РАН. Серия Географическая. –

2013. - № 6. - С. 126 – 136.

Копосов Г.Ф. Генезис почв гор Прибайкалья. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. - 253 с.

Комар И.В. Рациональное использование природных ресурсов и ресурсные циклы. – М.: Наука, 1975. – 512 с.

Конева И.В. Зооантропонозы Сибири и Дальнего Востока. Географические и экологические аспекты. – Новосибирск: Наука, 1992. – 164 с.

Коновалова Т.И. Анализ и картографирование структуры и динамики геосистем Верхнего Приангарья // География и природные ресурсы. – 2001. - № 2. – С.27-34.

Коновалова Т.И. Геосистемное картографирование. - Новосибирск: Акад. изд-во "Гео", 2010. - 186 с.

Коновалова Т.И. Уникальность геосистем и функциональное зонирование центральной экологической зоны оз. Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». - 2011. - Т. 4. - № 2. - С. 107-119.

Коржуев С.С. Рельеф и геологическое строение // Якутия. - М.: Наука, 1965. -С. 29-115.

Коржуев С.С. Средняя Сибирь // Равнины и горы Сибири. - М.: Наука, 1975. -С. 122-244.

Костычев П.А. Избранные труды / П. А. Костычев; ред. И. В. Тюрин. - Л.: Изд-во АН СССР, 1951. - 664 с.

Кочуров Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. - Смоленск: СГУ, 1999. - 154 с.

Кравцова В.И. Методические подходы к исследованию динамики северной границы лесов по аэрокосмическим снимкам / В.И. Кравцова // Материалы международной научной конференции «ИнтерКарто / ИнтерГИС 17: Устойчивое развитие территории: теория ГИС и практический опыт», Белокураха (Россия), Денпасар (Индонезия), 4 - 19 декабря 2011 г. – Барнаул, 2011. – С. 103-109.

Краснощеков Ю.Н. Лесные почвы бассейна озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 1987. – 145 с.

Крауклис А.А. Структурно-динамический фациальный анализ южно-таежного ландшафта // Южная тайга Приангарья. - Л.: Наука, 1969. - С. 32-119.

Крауклис А.А. Природные режимы и топогеосистемы // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1975. - С. 7-13.

Крауклис А. А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. – Новосибирск: Наука, 1979. – 233 с.

Крауклис А.А. Ландшафтные округа и геомы // Динамика геосистем и освоение Приангарской тайги. - Новосибирск: Наука, 1985. - С. 16-26.

Крауклис А.А., Бессолицына Е.П. Сукцессионно-возрастные смены таежных биогеоценозов // Изучение состояний таежных геосистем. – Иркутск:



ИГ СО АН СССР, 1980. - С. 37-72.

Криштофович А.Н. Происхождение флор ангарской суши // Материалы по истории флоры и растительности СССР. Т.3. - Л.: Изд-во АН СССР, 1958. - С. 742.

Кузнецова Т.И., Батуев А.Р. Картографирование геосистем юга Восточной Сибири для обоснования рационального природопользования // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о земле». - Иркутск, 2011. - Т. 4. - № 2. - С. 138-150.

Кузьменко Е.И., Смолоногов Е.П. Лесные экосистемы средней и южной тайги Западно-Сибирской равнины (структура и пространственно-временная динамика). – Новосибирск: Издательство РАН, 2000. – 218 с.

Кузьменко Е.И., Михеев В.С. Эколого-географические и картографические основы комплексного изучения Сибири. - Новосибирск: Гео, 2008. - 207 с. .

Кузьменко Е.И., Максютов Ш., Владимиров И.Н. Использование ландшафтной карты для оценки продуктивности геосистем южной тайги Западной Сибири // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С. 143-151.

Кузьмин В.А. Почвы котловин Байкальского типа. – Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1976. – 144 с.

Кузьмин В.А. Опыт почвенно-географических исследований на территории Байкальской Сибири // География и природные ресурсы. - 2007. - № 3. - С. 197-205.

Кузьмин М.И., Карабанов Е.В., Каваи Т., Вильямс Д., Бычинский В.А., Кербер Е.В., Кравчинский В.А., Безрукова Е.В., Прокопенко А.А., Гелетий В.Ф., Калмычков Г.В., Горегляд А.В., Антипин В.С., Хомутова М.Ю., Сошина Н.М., Иванов Е.В., Хурсевич Г.К., Ткаченко Л.Л., Солотчина Э.П., Йошида Н., Гвоздков А.Н. Глубоководное бурение на Байкале - основные результаты // Геология и геофизика. – 2001. - т.42. - № 1-2. - С.8-34.

Кузьмин М.И., Карабанов Е.Б., Безрукова Е.В., Бычинский В.А., Прокопенко А.А., Кравчинский В.А., Гелетий В.Ф., Солотчина Э.П., Хурсевич Г.К., Горегляд А.В., Крайнов М.А. Изменение климата и природной среды Центральной Азии в позднем кайнозое на основе изучения глубоководных скважин из озера Байкал // Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири / Отв. ред. А.П. Деревянко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - С. 11-105.

Кулешова М.Е., Мазуров Ю.Л. Экологические функции как основа выявления ценности территорий // Уникальные территории в природном и культурном наследии регионов. - М.: РНИИ культурного и природного наследия, 1994. - С.20-31.

Куприянова Т.П. К вопросу об устойчивости геосистем // Устойчивость геосистем. - М.: Наука, 1983. - С. 85–87.

Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели. – Новосибирск: Наука, 1986. - 296 с.

Лавренко Е.М. Степи СССР // Растительность СССР. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – Т. 2. – С. 1–265.

Лаженцев В.Н. Экономико-географические аспекты управления территориальным развитием // Экономическая наука современной России. – 2002. – № 2. – С. 67-78.

Ландшафтно-интерпретационное картографирование / Т.И. Коновалова, Е.П. Бессолицына, И.Н. Владимиров и др. – Новосибирск: Наука, 2005. – 425 с.

Ландшафтное планирование: принципы, методы европейский и российский опыт / А.Н. Антипов, А.В. Дроздов, В.В. Кравченко и др. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. – 142 с.

Ландшафтное планирование. Инструменты и опыт применения. / А.Н. Антипов, В.В. Кравченко, Ю.М. Семенов и др. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2005. – 165 с.

Ландшафты Иркутской области (карта, м-б: 1:2 500 000) / Т.И. Коновалова, В.С. Михеев // Атлас Иркутской области. Экологические условия развития. – М.; Иркутск: Роскартография; Институт географии СО РАН, 2004. – С. 54.

Ландшафты юга Восточной Сибири (карта, м-б: 1:1 500 000) / В.С. Михеев, В.А. Ряшин. – М.: ГУГК, 1977. – 4 л.

Лаухин С. А., Дроздов Н. И., Стариков А. В., Виноградов С. Н., Сейфулин Н. Х., Рябинин А. Л. Форова В. С. Радиоуглеродное датирование плейстоцен-голоценовых отложений в долине широтного течения Ангары // Геохронология четвертичного периода. – М.: Наука, 1980. – С. 213-223.

Левковская Г.М., Кинд Н.В., Завельский Ф.С., Форова В.С. Абсолютный возраст торфяников района г. Игарка и расчленение голоцена Западной Сибири // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода АН СССР. – М.: Наука, 1970. – № 37. – С. 94-101.

Лесная энциклопедия: В 2 т./ Гл. ред. Г. И. Воробьев. – М.: Сов. энцикл., 1985-1986. – Т. 1. – 1985. – 563 с.

Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. – М.: Наука, 1964. – 195 с.

Лопатовская О.Г. Почвы Прибайкалья // Вестник кафедры географии ВСГАО. – 2011. – № 1. – С. 70-82. – [Электронный ресурс] – URL: <http://kafgeo.igpu.ru/bulletin2/lopatorovskaja11-1.pdf> (дата обращения 12 мая 2017).

Лошкарева А.Р. Изучение динамики лесотундровой растительности по космическим снимкам (на примере Кольского полуострова) / А.Р. Лошкарева // Материалы международной научной конференции «ИнтерКарто / ИнтерГИС 17: Устойчивое развитие территории: теория ГИС и практический опыт», Белокураха (Россия), Денпасар (Индонезия), 4 - 19 декабря 2011 г. – Барнаул, 2011. – С. 120-126.

Макаренко Е.Л. Лесные пожары и их последствия в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Интерактивная наука. – 2016. – № 5. – С. 9-12.

Малышев Л.И. Находка бересклета священного (*Euonymus sacrosancta*

Koidz.) в Средней Сибири // Ботанический журнал. - 1957. - Т. 42, № 8. - С. 1253-1254.

Малышев Л.И. О новых и редких видах с Восточного Саяна // Ботанические материалы Гербария БИН АН СССР. – М.–Л.: Наука, 1961. - Т. 21. - С. 451-467.

Малышев Л. И. Высокогорная флора Восточного Саяна. Обзор сосудистых растений, особенности состава и флорогенезис. - Новосибирск: Наука, 1965. -368 с.

Малышев Л.И. Особенности и генезис флоры // Высокогорная флора Станового нагорья. - Новосибирск: Наука, 1972. - С. 150-189.

Малышев Л.И., Пешкова Г.А. Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). – Новосибирск: Наука, 1984. - 264 с.

Мамай И.И. О неповторимости состояний природных территориальных комплексов // Вестник Московского университета. Серия 5: География. - 1997. - № 1. - С. 30-35.

Мартынов В.П. Почвы горного Прибайкалья. - Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1965. - 166 с.

Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: Строение и геологическая история. ... - Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2001. - 252 с.

МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. - МГЭИК, Женева, 2014. - 163 с.

Мельников Ю.И. Ключевые орнитологические территории и охрана прибрежных птиц Байкальской Сибири // Инвентаризация, мониторинг и охрана ключевых орнитологических территорий России.- М.: Союз охраны птиц России, 2005. Вып. 5. - С. 97-118.

Микляева И.М. Восстановление степной растительности на залежных землях Восточной Монголии // Вестник Московского университета. Серия 5. География - 1996. - №1. - С. 75-81.

Механизмы устойчивости геосистем / Отв. ред. Н.Ф. Глазовский, А.Д. Арманд. - М.: Наука, 1992. - 200 с.

Минц А.А. Экономическая оценка природных ресурсов. - М.: Мысль, 1972. - 303 с.

Минц А.А., Кахановская Т.Г. Опыт количественной оценки природно-ресурсного потенциала районов СССР // Известия АН СССР. Серия географическая. - 1973. - № 5. - С. 55-65.

Миско К.М. Ресурсный потенциал региона: теоретические и методологические аспекты исследования. - М.: Наука. – 1991. – 94 с.

Михайлов Н.И. Горы Южной Сибири // Физико-географическое районирование СССР. - М. Изд-во МГУ, 1968. - С. 396-449.

Михайлов Ю.П. Географические грани процесса природопользования //

География и природные ресурсы. – № 3. – 1980. – С. 159–164.

Моисеев Н.Н. Системный анализ динамических процессов биосферы // Вестник АН СССР. - 1979. - №1. - С. 97-108.

Морозов Г.Ф. К вопросу о типах лесонасаждений // Лесопромышленный вестник. – 1903. - №21. - С. 389-391.

Морозов Г.Ф. Учение о лесе. - М.-Л.: Гос. Изд-во сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы, 1931. – 438 с.

Мухина Л.И., Преображенский В.С., Томилов Г.М., Фадеева Н.В. Природное районирование // Предбайкалье и Забайкалье. - М.: Наука, 1965. - С. 323-378.

Мухаббатов Х.М. Природно-ресурсный потенциал горных регионов Таджикистана. - М.: Граница, 1999. - 335 с.

Национальный атлас России: В 4-х т. Т. 2. Природа. Экология. – М.: Роскартография, 2007. – 495 с.

Нееф Э. Теоретические основы ландшафтоведения. - М.: Прогресс, 1974. - 220 с.

Новоселова И.Ю. Природно-ресурсный потенциал и его количественная оценка // Экономика природопользования. – 2009. - № 1. - С. 79-87.

Новосельцева И. Ф. Леса Читинской области // Леса СССР. Т. 4. - М.: Наука. 1969. - С. 438-468.

Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. – М.: Наука, 1964. – 314 с.

Нормы допустимых воздействий на экологическую систему озера Байкал (на период 1987 – 1995 гг.). Основные требования. - Новосибирск: УД СО АН СССР, 1987. - 45 с

Огуреева Г.Н. Структура высотной поясности растительности гор Южной Сибири // Бюлл. Московского общества природы. Отделение биологии. - 1983. - Т. 88. - №. 3. - С. 15-25.

Одум Ю. Экология. В 2-х т / Пер. с англ. М.: Мир, 1986. С. 328, 376.

Олюнин В.Н. Горы Южной Сибири // Равнины и горы Сибири. - М.: Наука, 1975. - С. 245-328.

Олюнин В.Н. Основные черты геоморфологического строения Прибайкалья и Западного Забайкалья // Проблемы геоморфологии и неотектоники орогенных областей Сибири и Дальнего Востока. - Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1968. - С. 153-161.

Оценка численности постоянного населения на 1 января 2017 года и в среднем за 2016 год. - [Электронный ресурс]. - URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/population/demo/Popul2017.xls](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/demo/Popul2017.xls) (дата обращения 11.03.2017)

Павловский Е.Н. Природная очаговость трансмиссивных болезней в связи с ландшафтной эпидемиологией зооантропонозов. - М.-Л.: Наука, 1964. - 211 с.

Палехова П.В. Государственная экологическая политика и ее реализация в Российской Федерации в 1950-1990-е годы: автореф. дис. ... док. ист. наук 07.00.02/П. В. Палехова. -М., 2000. -54 с.

Петров К.М. Биogeография с основами охраны биосферы. – Спб.: Изд-во С. - Петерб. Ун-та, 2001. – 476 с.

Пешкова Г.А. Взаимоотношения леса и степи в Приангарье // Труды Восточно-Сибирского биологического института. - Иркутск, 1962. - Вып. 1. - С. 90-99.

Пешкова Г.А. Степная флора Байкальской Сибири. - М.: Наука, 1972. - 207 с.

Пешкова Г.А. Растительность Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). – Новосибирск: Наука, 1985. – 145 с.

Пешкова Г.А. Флорогенетический анализ степной флоры гор Южной Сибири. – Новосибирск: Наука, 2001. - 192 с.

Плюснин В.М. Экологические риски природопользования в Сибири // Экологический риск: Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием (Иркутск, 18-21 апреля 2017 г.). - Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2017. - С. 47-49.

Плюснин В.М., Владимиров И.Н. Территориальное планирование центральной экологической зоны Байкальской природной территории. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. – 411 с.

Плюснин В.М., Ружников Г.М., Бычков И.В., Федоров Р.К., Хмельнов А.Е., Владимиров И.Н. Принципы формирования инфраструктуры пространственных данных муниципального уровня // Обработка пространственных данных и дистанционный мониторинг природной среды и масштабных антропогенных процессов (DPRS'2013) / Избранные труды конференции. (30 сентября – 04 октября 2013 г. Барнаул). – Барнаул: Пять плюс, 2013. – С. 69-70.

Плюснин В.М., Сороковой А.А. Геоинформационный анализ ландшафтной структуры Байкальской природной территории. - Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. - 187 с.

Поварницын В.А. Почвы и растительность бассейна Верхней Ангары // Бурят-Монголия. Почвенно-ботанический и охотоведческий очерк Северо-Байкальского района. Труды Бурят-Монгольской комплексной экспедиции 1932 г. - М.-Л.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1937. - С. 7-132.

Позднечетвертичные растительность и климаты Сибири и Российского Дальнего Востока (палинологическая и радиоуглеродная база данных) / П.М. Андерсон, А.В. Ложкин. - Магадан, СВНЦ ДВО РАН, 2002. - 369 с.

Положий А.В., Крапивкина Э.Д. Реликты третичных широколиственных лесов во флоре Сибири. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1985. - 158 с.

Поплавская Г.И. Бассейн В. Ангары. Южные открытые склоны. // Предварительный отчет об организации и исполнении работ по исследованию почв Азиатской России в 1912 году / М-во земледелия. Переселенч. упр. - Спб, 1913. - С. 180-193.

Попов Л.В. Леса междуречья Чуны и Вихоревой. - Иркутск: Ирк. книж. изд-во, 1961. - 141 с.

Попов Л.В. Южнотаежные леса Средней Сибири. - Иркутск: Изд-во ИГУ,

1982. - 330 с.

Попов Л.В. Деревья и кустарники // Леса и лесное хозяйство Иркутской области. - Иркутск, 1997. - С. 79-106.

Попов М.Г. Флора Байкальской Сибири и ее происхождение // Новая Сибирь. Кн. 33. - Иркутск, 1955. - С. 302-319.

Попова А.И. Основные моменты истории развития растительности Якутии в четвертичном периоде // Проблемы изучения четвертичного периода. - М.: Наука, 1972. - С. 278-286.

Преображенский В.С. Проблемы изучения устойчивости геосистем // Устойчивость геосистем. - М.: Наука, 1983. - С. 5-7.

Приваловская Г.А., Рунова Т.Г. Территориальная организация промышленности и природные ресурсы СССР. - М.: Наука, 1980. - 253 с.

Продовольственная безопасность: термины и понятия: энцикл. справочник, термины и понятия / В.Г. Гусаков [и др.]. - Минск: Беларус. наука, 2008. - 535 с.

Пузаченко Ю.Г. Инвариантность геосистем и их компонентов // Устойчивость геосистем. - М.: Наука, 1983. - С. 32-41.

Пузаченко Ю.Г., Борунов А.К., Кошкарёв А.В., Скулкин В.С. Географические основы предупреждения и ликвидации последствий природно-техногенных катастроф // Известия РАН. Серия географическая. - 1991. - № 6. - С. 40-54.

Равский Э.И. Осадконакопление и климаты внутренней Азии в антропогене. - М.: Наука, 1972. - 335 с.

Равский Э.И., Александрова Л.П., Вангенгейм Э.А., Гербова В.Г., Голубева Л.В. Антропогенные отложения юга Восточной Сибири. Труды ГИН АН СССР, вып. 105. - М.: Наука, 1964. - 280 с.

Равский Э.И., Алексеев М.Н. Четвертичный период в Восточной Сибири // Хронология и климаты четвертичного периода. - М.: Изд-во АН СССР, 1960. - С. 149-162.

Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии: Поздний плейстоцен-голоцен; Элементы прогноза / И.И. Спасская, В.И. Астахов, О.Ю. Глушкова и др.; отв. ред. А. А. Величко. - Москва: Наука, 1993-. 102 с.

Растительность юга Восточной Сибири. Карта. Масштаб 1: 1500000. / А.В. Белов, А.В. Гаращенко, В.М. Кротова и др. - М.: ГУГК, 1972. - 4 л.

Реанович Е.А. Смысловые значения понятия «потенциал» // Международный научно-исследовательский журнал. - 2012. - № 7-2. - С. 14-15.

Ревердатто В.В., Голубинцева В.П. Сорная растительность орошаемых и неорошаемых полей и залежей южно-сибирских степей (юг Красноярского края). - М.-Л.: Сельхозгиз, 1930. - 80 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. - М.: Мысль, 1990. - 637 с.

Ретеюм А.Ю. О геокомплексах с односторонним системообразующим потоком вещества, и энергии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 1971. - № 5. - С.122-

128.

Росновский И.Н. Устойчивость почв: техногенно-механические аспекты. - Новосибирск: Наука, 1993. - 161 с.

Росновский И.Н. Устойчивость экосистем: введение в проблему и методы исследования. - Томск: Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1997. - 53 с.

Росновский И.Н. Устойчивость почв в экосистемах как основа экологического нормирования. - Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2001. - 252 с.

Руденко В.П. Экономико-географическое содержание категории "природно-ресурсный потенциал территории" // География и природные ресурсы. - 1980. - № 3. - С. 164-169.

Рюмин В.В. Опыт оценки природного потенциала ландшафта // География и природные ресурсы. - 1984. - № 4. - С. 125-131.

Савина Л.Н. Новейшая история лесов Западного Саяна. - Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1976. - 157 с.

Савина Л.Н. Тенденции развития прибрежных ландшафтов оз. Байкал по данным палеогеографических исследований // Позднекайнозойская история озер в СССР. - Новосибирск: Наука, - 1982. - С. 42-52.

Салоп Л.И. Геологическое строение и полезные ископаемые Байкальской горной области в свете новых данных // Развитие производительных сил Восточной Сибири. Геологическое строение. - М.: Наука, 1960. - С. 74-89.

Самбуу А.Д. Сукцессии растительности в травяных экосистемах Тувы // Фундаментальные исследования. - 2013. - № 10. - С. 1095-1099.

Саранча М.А. Туристский потенциал территории: проблематика определения. Сущности и структуры // Вестник Удмуртского государственного университета. Серия «Биология. Науки о земле». - 2015. - Выпуск 6-1. - С. 134-140.

Светлосанов В.А. Устойчивость природных систем к природным и антропогенным воздействиям. - М.: Изд-во 11-й формат, 2009. - 100 с.

Семёнов Ю.М. Ландшафтно-географическое обеспечение экологической политики природопользования в регионах Сибири // География и природные ресурсы. - 2014. - № 3. - С. 16-21

Силаев Е.Д., Шимов В.Н. Экономическая оценка природно-ресурсного потенциала региона // Изв. АН СССР. Серия экономическая. - 1977. - № 2. - С. 18-26

Синицын В.М. Древние климаты Евразии. Ч. 1. Палеоген и неоген. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1965. - 166 с.

Смолоногов Е.П. Лесообразовательный процесс и его особенности // Экология. - 1994. - № 1. - С. 3-9.

Смолоногов Е.П. Основные положения генетического подхода при построении лесотипологических классификаций // Экология. - 1998. - № 4. - С. 256-261.

Снытко В.А., Выркин В.Б., Китов А.Д. Использование ГИС-технологии

при анализе границ котловин Байкальского типа // ИнтерКарто 9: ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы Международной конференции. - Новороссийск, Севастополь, 2003 – С. 202 – 205.

Соколова Н.В. Природно-ресурсный потенциал территории: содержание понятия, методы оценки // Вестник Ленингр. у-та. Сер.7. – 1988. - вып.3. - С. 125-130.

Солнцев Н.А. Природный ландшафт и некоторые его общие закономерности. - Труды II Всесоюзного географического съезда, т. I. - М.: Географгиз, 1948, - С. 258-269.

Солоненко В.П. Сейсмо тектоника и современное структурное развитие Байкальской рифтовой зоны // Байкальский рифт. - М.: Наука, 1968. - С. 57-71.

Сороковой А.А., Жамбалжав Я., Плюснин В.М., Доржготов Д. Мерзлотное районирование. // Экологический атлас бассейна оз. Байкал. – Иркутск: Типография ООО «Форвард», 2015. - С. 33-34.

Софронов А.П. Эволюция и динамика растительности котловин Северо-Восточного Прибайкалья: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук: 25.00.23. – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. - 24 с.

Софронов А.П., Белов А.В. Структура растительного покрова котловин Северо-Восточного Прибайкалья // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы / Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 20–24 сентября 2011 г.). Т. 1: Разнообразие типов растительных сообществ и вопросы их охраны. География и картография растительности. История и перспективы геоботанических исследований. - СПб, 2011. – С. 424-427.

Софронов А.П., Соколова Л.П., Владимиров И.Н. Прогноз динамики растительности Северного Прибайкалья // Материалы XV совещания географов Сибири и Дальнего Востока (г. Улан-Удэ, 10-13 сентября 2015 г.). – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН Иркутск, 2015. - С. 152-154.

Сочава В.Б. Вопросы флорогенеза и филоценогенеза маньчжурского смешанного леса // Материалы по истории флоры и растительности СССР. Т.2. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. - С. 283-320

Сочава В.Б. Пути построения единой системы растительного покрова // Делегатский съезд Всесоюзного бот. Об-ва (май 1957). – Л., 1957. – С. 41-50.

Сочава В.Б. Структурно-динамическое ландшафтоведение и географические проблемы будущего // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. – 1967. - Вып. 16. - С. 18-31.

Сочава В.Б. География и экология // Материалы V съезда Геогр. о-ва СССР. - Л., 1970. - С. 8-10.

Сочава В. Б. Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения и геосистемах. - Новосибирск: Наука, 1974. - С. 3-86.

Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. - Новосибирск: Наука,



Сибирское отделение, 1978. - 319 с.

Сочава В.Б. Растительный покров на тематических картах. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1979. – 190 с.

Сочава В.Б. Географические аспекты сибирской тайги. - Новосибирск: Наука, 1980. - 256 с.

Сочава В.Б. Проблемы физической географии и геоботаники. Избранные труды. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1986. - 343 с.

Сочава В.Б., Михеев В.С., Ряшин В.А. Обзорное ландшафтное картографирование на основе интеграции элементарных геосистем // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. - 1965.- № 10. – С. 9-22.

Сочава В.Б., Тимофеев Д.А. Физико-географические области Северной Азии // Докл. Ин-та геогр. Сибири и Дальнего Востока. - 1968. - Вып. 19. - С. 3-19.

Стенограмма заседания Совета Безопасности от 20 ноября 2013 г. [Электронный ресурс]. - URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/19655> (дата обращения 11.03.2017).

Стоящева Н.В. Экологический каркас территории и оптимизация природопользования на юге Западной Сибири (на примере Алтайского региона). - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. - 140 с.

Суворов Е.Г., Семенов Ю.М., Кузьменко Е.И., Лысанова Г.И. Ландшафты // География Сибири в начале XXI века. Т. 2. Природа / Под редакцией В.М. Плюснина. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2015. – С. 331-358.

Сукачев В.Н. Бассейн реки Верхней Ангары // Предварительный отчет об организации и исполнении работ по исследованию почв Азиатской России в 1912 г. / М-во земледелия. Переселенч. упр. - Спб, 1913. - С. 145-179.

Татаркин А.И. Социально-экономический потенциал региона: проблемы оценки, использования и управления. - Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 1997. - 380 с.

Тесленок С.А. Создание тематического содержания цифровой ландшафтной карты Акмолинского Приишимья // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 3. – С. 157-163.

Тесленок С.А., Манухов В.Ф. Геоинформационные технологии при создании цифровых ландшафтных карт // Геодезия и картография. - 2009. - № 4. - С. 25-29.

Титлянова А.А. Устойчивость травяных экосистем // Проблемы устойчивости травяных систем. - М.: Наука, 1992. - С. 68-77.

Тишков А.А. Биотические механизмы устойчивости геосистем // Механизмы устойчивости геосистем. - М.: Наука, 1992. - С. 111–120.

Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. – М.: Наука, 2005. – 309 с.

Толмачев А.И. К истории возникновения и развития темнохвойной тайги. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. - 155 с.

Толмачев А.И. О происхождении некоторых основных элементов высокогорных флор Северного полушария // Материалы по истории флоры и растительности СССР. Т.3. - Л.: Изд-во АН СССР, 1958. - С. 316-361.

Толмачев А.И. Введение в географию растений. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. - 244 с.

Третьяков Н.В. Закон единства в строении насаждений. - М.-Лгр.: Новая деревня, 1927. - 113 с.

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология: Учебник - М., ЗАО «Геоинформмарк», 2002. - 415 с.

Тулохонов А. К. Байкальская проблема: история и документы. - Улан-Удэ: ИД «ЭКОС», 2010. - 128 с.

Тюлина Л.Н. О типах поясности растительности на западном и восточном побережье северного Байкала // Геоботанические исследования на Байкале. - М.: Наука, 1967. - С. 40-46.

Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Белозерцева И.А., Гынинова А.Б., Сороковой А.А., Убугунов В.Л. Почвы бассейна оз. Байкал: итоги исследования за 1980–2017 гг. // География и природные ресурсы. – 2018. - № 4. - С. 76-87

Уварова Г.Г. Институциональные проблемы взаимодействия общества и власти в контексте реализации государственной экологической политики России // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. – 2016. - № 4 (71). - 105-108

Устойчивость геосистем / Отв. ред. А. Д. Арманд, И. Ю. Долгушин. - М.: Наука, 1983 - 88 с.

Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Итоги науки и техники. Сер. «Лесоведение и лесоводство». – М.: ВИНТИ, 1975. – Т. 1. – С. 9–190.

Фалалеев Э.Н. Пихтовые леса Сибири и их комплексное использование. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 166 с.

Флейс М.Э., Никифорова А.А., Нырцов М.В., Борисов М.М., Хропов А.Г. Создание масштабного ряда почвенно-ландшафтных карт в геоинформационной среде // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2016. - №1. – С. 147-155.

Флора Байкальской Сибири. Информационная система. [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.flora.baikal.ru/> (дата обращения 11.03.2017).

Флоренсов Н.А., Олюнин В.Н. Рельеф и геологическое строение // Предбайкалье и Забайкалье. - М.: Наука, 1965. - С. 23-91.

Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. - 258 с.

Фомин В.В., Капралов Д.С., Терентьев М.М., Барова А.А., Устинов А.В., Циммерманн Н.Е. Пространственно-временная динамика верхней границы леса на Южном Урале во второй половине XX века // Геоинформатика. - 2007. - № 1. - С. 56-61.

Фонотов А. Г. Ресурсный потенциал: планирование, управление. – М.:

Экономика, 1985. – 151 с.

Харук В.И., Им С.Т., Рэнсон К.Д., Наурзбаев М.М. Временная динамика листовенницы в экотоне лесотундры // Доклады Академии наук. - 2004. - Т. 398. - № 3. - С. 404–408.

Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта. - М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. - 416 с.

Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. - М.: Наука, 1977. - 198 с.

Цыбжитов Ц.Х., Убугунова В.И. Генезис и география таежных почв бассейна озера Байкал. – Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1992. – 240 с.

Цыбикдоржиев Ц.Ц., Цыбжитов Ц.Х., Убугунов Л.Л., Гончиков Б.М.Н., Цыбжитов А.Ц., Бадмаев Н.Б. Почвы. // Байкал: природа и люди: энциклопедический справочник / Отв. ред. А. К. Тулохонов. – Улан-Удэ: ЭКОС: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009 – С. 274-280.

Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика.-2011.-№2.-С. 5.

Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика.- 2009. - № 3. - С. 5.

Черкашин А.К. Динамическая модель сукцессии пихтовой тайги // Модели природных систем. - Новосибирск: Наука, 1978. - С. 94-99.

Черкашин А.К. Использование математической модели для прогноза восстановления структуры таежных биогеоценозов после рубок // Структура и динамика геосистем. - Новосибирск: Наука, 1979. - С. 97-110.

Черкашин А.К. Прогноз пространственной и временной динамики лесов таежного ландшафта // Динамика эколого-экономических систем. - Новосибирск: Наука, 1981. - С. 107-111.

Черкашин А.К. Модель динамики лесонасаждений лесхоза и ее применение для решения прогнозных задач // Планирование и прогнозирование природно-экономических систем. - Новосибирск: Наука, 1984. - С. 69-81.

Черкашин А.К. Расширяющийся комплекс частных моделей. Лес // Системные исследования взаимодействия природы и хозяйства региона. - Иркутск: Изд-во Иркутского Университета, 1986. - С. 71-77.

Черкашин Е.А., Чудненко А.К., Владимиров И.Н. Интеллектуальная геоинформационная система динамики управления древостоем в контексте задачи разработки системы поддержки принятия решений по рациональному использованию лесных ресурсов // ИнтерКарто/ИнтерГИС 10 - Устойчивое развитие территорий: геоинформационное обеспечение и практический опыт. - Международная картографическая ассоциация, 2004. - С. 81-85.

Черных Д.В. Пространственно-временная организация внутриконтинентальных горных ландшафтов (на примере Русского Алтая). Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. - Томск, 2012. - 51 с.

Черных Д.В. Ландшафтные основы мониторинга природных процессов на пространстве Западной Сибири от Арктики до аграрного юга // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2017. - Вып. 1 (94). - С. 83-86.

Чибилёв А.А. Введение в геоэкологию: (эколого-географические аспекты природопользования). - Екатеринбург: УрО РАН, 1998. - 124 с.

Чистобаев А.И. Развитие экономических районов: Теория и методы исследования. - Л.: Наука, 1980. - 128 с.

Шаталова Т.Н., Серова А.С. Природно-ресурсный потенциал в экономической системе региона // Вестник Оренбургского государственного университета. 2008. - № 8. - С. 188-122.

Шиятов С.Г. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, М.М. Терентьев, В.В. Фомин // Экология. – 2005. – № 2. – С. 83-90.

Шиятов С.Г. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, М.М. Терентьев, В.В. Фомин, Н.Е. Цимменманн // Экология. – 2007. – № 4. – С. 243–248.

Шиятов С.Г. Климатогенная динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа // Лесоведение. – 2007. – № 6. – С. 11–22.

Шорников Д. В. Закон о Байкале: Предыстория и история // Сибирский Юридический Вестник. - 1999. - № 1. – С. 52-55

Шофман И.Л., Ревердатто М.В. К стратиграфии антропогенных отложений Средней Лены // Проблемы изучения четвертичного периода. - М.: Наука, 1972. - С. 187-197.

Цейтлин С.М. Сопоставление четвертичных отложений ледниковой и внеледниковой зон Центральной Сибири (бассейн Нижней Тунгуски) // Труды Геологического института АН СССР. - М.: Наука, 1964. - Вып. 100. - 187 с.

Щербина С.С. Роль лесных видов в формировании ботанико-географических рубежей на Среднесибирском плоскогорье // Бюлл. Московского общества природы. Отделение биологии. - 1999. - Т.104. - №2 .- С.34-37.

Экологический атлас бассейна озера Байкал. - Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. - 145 с.

Ahern, J. Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design // Landscape Ecology. – 2013. – Vol. 28, Issue 6. – P. 1203–1212

Arno S.F. Timberline: Mountain and Arctic forest frontiers / S.F. Arno, R.P. Hammerly. – Seattle, WA, USA: The Mountaineers, 1984. – 304 p.

Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov D.V., Isaev A.S., A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia // International Journal of Remote Sensing. – 2003. – Vol. 24, No. 9. – P. 1977-1982.

Bezrukova E., Tarasov P., Solovieva N., Krivonogov S., Riedel F. Last glacial - interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: chronology, forcing and feedbacks // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. - 2010. - Vol. 296. - P. 185-198.

Bezrukova E.V., Belov A.V., Letunova P.P., Abzaeva A.A., Kulagina N.V.,

Fisher E.E., Orlova L.A., Sheifer E.V., Voronin V.I. Peat biostratigraphy and Holocene climate in the northwestern mountain periphery of Lake Baikal // *Russian Geology and Geophysics*. – 2008. - Vol. 49. - P. 413-421.

Bontemps S., Defourny P., Van Bogaert E., Arino O., Kalogirou V., Ramos P., Jose J. GLOBCOVER 2009 Products description and validation report. - Université catholique de Louvain (UCL) & European Space Agency (ESA), Vers. 2.2. - 2011. - 53 p., hdl:10013/epic.39884.d016. - [Электронный ресурс]. - URL: [http://due.esrin.esa.int/files/GLOBCOVER2009\\_Validation\\_Report\\_2.2.pdf](http://due.esrin.esa.int/files/GLOBCOVER2009_Validation_Report_2.2.pdf) (дата обращения 11.03.2017).

Bragg D.C., Roberts D.W., Crow T.R. A hierarchical approach for simulating northern forest dynamics // *Ecological Modelling*. - 2004. - Vol. 173. - P. 31–94

Bugmann H.K.M. A simplified forest model to study species composition along climate gradients // *Ecology*. - 1996. - Vol. 77. - P. 2055–2074.

Bürgi M., Hersperger A.M., Schneeberger N. Driving forces of landscape change - current and new directions // *Landscape Ecology*. – 2005. – Vol. 19, Issue 8. – P. 857–868

Burianek V., Novotny R., Hellebrandova K., Šramek V. Ground vegetation as an important factor in the biodiversity of forest ecosystems and its evaluation in regard to nitrogen deposition // *Journal of Forest Science*. – 2013. – Vol. 59. - № 6. – P. 238-252.

Ceccato P., Flasse S., Tarantola S., Jacquemoud S., Gregoire J.-M. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain // *Remote Sensing of Environment*. – 2001. – Vol. 77, Issue 1. – P. 22–33.

Clements F.E. *Plant succession and indicators*. – N.Y., 1928. – 453 p.

Connor D.J., Tunstall B.R., Van den Driessche R. An analysis of photosynthetic response in an brigalow forest // *Photosynthetica*. - 1971. - Vol. 5. № 3. - P. 218-225

Cwynar L.C., Spear R.W. Reversion of forest to tundra in the central Yukon // *Ecology*. – 1991. – Vol. 72. – P. 202-212

Demske D., Heumann G., Granoszewski W., Nita M., Mamakowa K., Tarasov P., Oberhänsli H. Late glacial and Holocene vegetation and regional climate variability evidenced in high-resolution pollen records from Lake Baikal // *Global Planetary Change*. – 2005. - Vol. 46. - P. 255-279.

Fischlin A., Bugmann H., Gyalistras D. Sensitivity of a forest ecosystem model to climate parameterization schemes // *Environmental Pollution*. - 1995. - Vol. 87. - P. 267–282.

Gibbard P.L., Head M.J., Walker M.J.C. and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. // *Journal of Quaternary Science*. – 2010. - Vol. 25 - P. 96–102.

Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., and Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // *Science*. – 2013. - 342 (15 November).

- P. - 850–853.

Heinsch, F. A., M. Reeves, P. Votava, S. Kang, C. Milesi, M. Zhao, J. Glassy, W. M. Jolly, R. Loehman, C. F. Bowker, J. S. Kimball, R. R. Nemami, and S. W. Running. 2003. User's Guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm. - [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.ntsg.umd.edu/sites/ntsg.umd.edu/files/modis/MOD17UsersGuide.pdf> (дата обращения 11.03.2017).

Hijmans R.J., Cameron S.E, Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. – 2005. – Vol. 25, Issue 15. – P. 1965-1978.

Holling C.S. Resilience and Stability of Ecological Systems // *Annual Review of Ecology and Systematics*. – 1973. – Vol. 4. – P. 1-23.

Holling C.S. From complex regions to complex worlds // *Ecology and Society*. - 2004. - 9 (1): 11. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art11/>

Horn H.S. Markovian properties of forest succession // *Ecology and Evolution of Communities* (Eds. M. Cody & J. Diamond). - Cambridge: Belknap, 1975. - P. 196-211.

Horn H.S. Some causes of variety in patterns of forest succession // *Forest Succession: Concepts and Applications* (Eds. D.C. West, H.H. Shugart, D.B. Botkin). - N.Y.: Springer-Verlag, 1991. - P. 24-35.

Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // *Remote Sensing of Environment*. - 2002– Vol. 83, Issue 1 – P. 195-213.

Huete A.R., Liu H.Q., Batchily K., van Leeuwen W. A comparison of vegetation indices global set of TM images for EOS-MODIS // *Remote sensing of environment*. – 1997. – Vol. 59, Issue 3. - P. 440-451.

Jakubos B., Romme W.H. Invasion of subalpine meadows by lodgepole pine in Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. // *Arctic and Alpine Research*. – 1993. – Vol. 25, № 4. – P. 382–390.

Kearney M.S. Recent seedling establishment at timberline in Jasper National Park, Alberta // *Canadian Journal of Botany*. – 1982. – Vol. 60. – P. 2282–2287.

Kichigina N. Hydroclimatic changes and analysis of floods in large river basins of southern East Siberia // *Hydrological Process*. - 2013. – Vol. 27, № 15. – P. 2144-2152.

Kröpelin S, Verschuren D, Lézine A-M, Eggermont H, Cocquyt C, Francus P, Cazet J P, Fagot M, Rumes B, Russell J M, Darius F, Conley D J, Schuster M, Suchodoletz H V, Engstrom D R. Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years // *Science*. – 2008. - Vol. 320 (09 May). - P.765-768.

Kullman L., Engelmark O. Neoglacial climate control of subarctic *Picea abies* stand dynamics and range limit in Northern Sweden // *Arctic and Alpine Research*. – 1997. – Vol. 29, № 3. – P. 315–326.

Kullman L. Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes // *Journal of Ecology*. – 2002. – Vol. 90, № 1. – P. 68-77.

Kullman L. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology // *Journal of Ecology*. – 2007. – Vol. 95, № 1. – P. 41–52.

Kullman L., Öberg L. Post-little ice age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective // *Journal of Ecology* – 2009. – Vol. 97, № 3. – P. 415–429.

Lavoie C., Paeytte S. Black spruce growth forms as a records of a changing winter environment at treeline, Quebec, Canada // *Arctic and Alpine Research*. – 1992. – Vol. 24, № 1. – P. 40–49.

Ledebour C.F. *Flora Rossica. - Stuttgartiae, 1842, vol.1, 790 p.*

Levrel H., Hay J., Bas A., Gastineau P., Pioch S. Coût d'opportunité versus coût du maintien des potentialités écologiques: deux indicateurs économiques pour mesurer les coûts de l'érosion de la biodiversité // *Natures Sciences Sociétés*. – 2012. - Vol. 20, № 1. - P. 16-29.

Lloyd A.H., Graumlich L.J. Holocene dynamic of treeline forests in the Sierra Nevada // *Ecology*. – 1997. – Vol. 78, № 74. – P. 1199 – 1210.

Luan J., Muetzelfeldt R.I., Grace J. Hierarchical approach to forest ecosystem simulation // *Ecological Modelling*. - 1996. - Vol. 86. - P. 37–50.

Luedeling E., Buerkert A. Typology of oases in northern Oman based on Landsat and SRTM imagery and geological survey data // *Remote Sensing of Environment*. – 2008. - Vol. 112, Issue 3. - P. 1181–1195.

MacDonald, G.M., Velichko, A.A., Kremenetski, C.V., Borisova, O.K., Goleva, A.A., Andreev, A.A., Cwynar, L.C., Riding, R.T., Forman, S.L., Edwards, T.W.D., Aravena, R., Hammarlund, D., Szeicz, J.M., Gattaulin, V.N. Holocene treeline history and climate change across northern Eurasia // *Quaternary Research*. – 2000. - Vol. 53. - P. 302-311.

Mackay A.W., Bezrukova E.V., Boyle J.F., Holmes J.A., Panizzo V.N., Piotrowska N., Shchetnikov A.A., Shilland E.M., White D. Multiproxy evidence for abrupt climate change impacts on terrestrial and freshwater ecosystems in the Ol'khon region of Lake Baikal, central Asia // *Quaternary International*. – 2012. - Vol. 290-291. - P. 46-56.

Mäkelä A. Process-based modelling of tree and stand growth: towards a hierarchical treatment of multiscale processes // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2003. - Vol. 33. - P. 398–409.

Meade M.S., Earickson R.J. *Medical Geography*. - New York: The Guilford Press, 2000. - 500 p.

Mladenoff D.J., He H.S. Design and behavior of LANDIS, an object-oriented model of forest landscape disturbance and succession // *Advances in Spatial Modeling of Forest Landscape Change: Approaches and Applications*. - Cambridge: Cambridge University Press, 1999. - P. 125–162.

Mladenoff D.J., Host G.E., Boeder J., Crow T.R. LANDIS: a spatial model of forest landscape disturbance, succession, and management // *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*. - GIS World Inc., 1996. - P. 175–180.

Myneni R.B., Hall F.G., Sellers P.J., and Marshak A.L. The interpretation of

spectral vegetation indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 1995. – Vol.33, Issue 2. – P. 481-486.

Panigrahy S., Singh C.P., Kimothi M.M., Soni P., Parihar J.S. The Upward migration of alpine vegetation as an indicator of climate change: observations for Indian Himalayan region using remote sensing data // *NNRMS Bulletin*. – 2010. – Vol. 35. – P. 73–80.

Peterson G., Allen C.R. and Holling C.S. Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale // *Ecosystems*. – 1998. – Vol. 1. - P. 6–18.

Plyusnin V.M. Ecological Safety of Siberia // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2014. - Vol.7, No.6. - P.597-603.

Popova A.K., Cherkahsin E.A., Vladimirov I.N. Modeling the contribution of natural and an-thropogenic factors on the forests in Irkutsk region, Russia // *CEUR Workshop Proceedings*. - 2018. - Vol. 2221. - P. 53-60.

Popova A.K., Cherkashin E.A., Vladimirov I.N. Forest resources of the baikal region: vegetation dynamics under anthropogenic use // *Information technologies in the research of biodiversity. Springer proceedings in Earth and environmental sciences*. - Springer, Cham, 2019. – P. 96-106.

Prokopenko A.A., Bezrukova E.V., Kuzmin M.I., Khursevich G.K., Solotchina E.P. Climate in continental interior Asia during the longest interglacial of the past 500 000 years: The new MIS 11 records from Lake Baikal, SE Siberia // *Climate of the Past Discussions*. - 2009. - Vol. 5, № 4. - P. 1951-1988.

Rabus B., Eineder M., Roth A., and Bamler R. (2003). The shuttle radar topography mission - A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2003. – Vol. 57, Issue 4. - P. 241-262.

Randerson J.T., Chapin F.S., Harden J.W., Neff J.C. and Harmon M.E. Net ecosystem production: a comprehensive measure of net carbon accumulation by ecosystems // *Ecological Applications*. – 2002. – Vol.12, , No.4. –P. 937–947.

Rees G., Brown I., Mikkola K., Virtanen T., Werkman B. How can the dynamics of the tundra-taiga boundary be remotely monitored? // *AMBIO Special report*. – 2002. – Vol. 12. – P. 56-62.

Richardson A.J., Wiegand C.L. Distinguishing vegetation from soil background information // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. - 1977. - Vol. 43, Issue 12. - P. 1541-1552.

Roberts N. The Holocene. An environmental history. - Malden, Massuchusets, USA, Blackwell Publishers Inc., 1998. - 316 p.

Running S. W., Thornton P. E., Nemani R. R., Glassy J. Global terrestrial gross and net primary productivity from the Earth Observing System // *Methods in Ecosystem Science*. – NY: Springer-Verlag, 2000. – P. 44 - 57

Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. – New York; London: McGraw-Hill International Book Co, 1980. - 287 p.

Seppä H., Bjune A.E., Telford R.J., Birks H.J.B., and Veski S. Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe // *Climate of the Past*.



Discuss. – 2009. - Vol. 5. - P. 1523-1535.

Sexton J.O., Noojipady P., Song X.-P., Anand A., McMahon S., Huang C., Feng M., Channan S., Townshend J.R. A model for the propagation of uncertainty from continuous estimates of tree cover to categorical forest cover and change // *Remote Sensing of Environment*. – 2015. – Vol. 156. – P. 418–425

Singh C.P., Panigrahy S., Parihar J.S., Dharaiya N. Modeling environmental niche of Himalayan birch and remote sensing based vicarious validation // *Tropical Ecology*. – 2013. – Vol. 54, №3. – P. 319–327.

Shelford V.E. Some Concepts of Bioecology // *Ecology*. – 1931. - Vol. 12, №3. - P. 455–467.

Shugart H.H. A Theory of Forest Dynamics. The Ecological Implications of Forest Succession Models. - N.Y.: Springer, 1984. - 278 p.

Shugart H.H., Crow T.R., Hett J.M. Forest succession models: a rational and methodology for modeling forest succession over large regions // *Forest Science*. - 1973. - Vol. 19. № 3. - P. 203 -212.

Shugart H.H., French N.H.F., Kasischke E.S., Slawski J.J., Dull C.W., Shuchman R.A., Mwangi J. Detection of vegetation change using reconnaissance imagery // *Global Change Biology*. - 2001. - Vol. 7, №3. - P. 247-252.

Smith W.K., Johnson D.M., Reinhardt K. Alpine Forest // *Ecosystem Ecology* (Ed. Jørgensen S.E.). – Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V., 2009 – P. 156-165.

Tang X., Pan Y., Hao X., Liu Y. Calculation method of cultivated land consolidation ecological potential in China // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 2015. – Vol. 31, № 17. - P. 270-277.

Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E., Nakagawa T., Wagner M., Kulagina N., Letunova P., Abzaeva A., Granoszewski W., Riedel F. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2007. - Vol. 252. - P. 440-457.

Tarasov P., Bezrukova E., Krivonogov S. Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel // *Climate of the Past*. – 2009. - Vol. 5. - P. 285-295.

Taylor A.H. Forest expansion and climate change in the mountain hemlock (*Tsuga mertensiana*) zone, Lassen Volcanic National Park, California, USA // *Arctic and Alpine Research*. – 1995. – Vol. 27. № 3. – P. 207–216.

Timoshkin O.A., Samsonov D.P., Yamamuro M., Moore M.V., Belykh O.I., Malnik V.V, Sakirko M.V., Shirokay A.A., Bondarenko N.A., Domysheva V.M., Fedorova G.A., Kochetkov A.I., Kuzmin A.V., Likhnev A.G., Medvezhonkova O.V., Nepokrytykh A.V., Pasyukova E.M., Poberezhnaya A.E., Potapskaya N.V, Rozhkova N.A., Sheveleva N.G., Tikhonova I.V., Timoshkina E.M., Tomberg I.V., Volkova E.A., Zaitseva E.P., Zvereva Yu.M., Kupchinsky A.B., Bukshuk N.A. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? // *Journal of Great Lakes Research*. – 2016. – Vol. 42, Issue 3. – P. 487–497.

Tou J.T., Gonzalez R.C. Pattern recognition principles. - Reading,

Massachusetts, USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1974. - 395 p.

Tranquillini W. Physiological ecology of the Alpine timberline: Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps (Ecological Studies, 31). – Berlin, New York: Springer-Verlag, 1979. – 137 p.

Tucker C.J., Sellers P.J. Satellite remote-sensing of primary production // *International Journal of Remote Sensing*. – 1986. - Vol. 7, Issue 11. - P. 1395–1416.

Turczaninow N. Flora Baicalensi-Dahurica seu descriptio plantarum in regionibus Cis-et Transbaicalensis Dahuria atque sponte nascentium. - Mosquae, 1842; 1856.-V. 1; V. 2.-PP. 288-354

Urban D.L., Harmon M.E., Halpern C.B. Potential response of Pacific Northwestern forests to climatic change, effects of stand age and initial composition // *Climatic Change*. - 1993. - Vol. 23. - P. 247–266.

Velichko A.A., Andreev A.A., Klimanov V.A. Climate and vegetation dynamics in the tundra and forest zone during the Late Glacial and Holocene // *Quaternary International*. – 1997. - Vol. 41/42. – P. 71-96.

Vladimirov I.N. Mapping of regenerative and age dynamics of taiga forests on the basis of remote sensing data, geographical knowledge and mathematical models // *Journal of Remote Sensing* (published by Chinese Academy of Sciences). – 2007. - Vol. 11. - № 5. - P. 732-744.

Vladimirov I.N. Predictive mapping of the restoration-age dynamics of taiga forests on the basis of remote sensing data and geographical knowledge // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2014. – Vol. 12(4). – P. 807-824

Vladimirov I.N. The ecological potential of Baikal region's geosystems // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 190. – 012017. DOI :10.1088/1755-1315/190/1/012017

Vladimirov I.N., Chudnenko A.K. Multilevel Modeling of the Forest Resource Dynamics // *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*. – 2009. - Vol. 4, No. 5. - P. 72-88.

Vladimirov I.N., Sorokovoy A.A. Geoinformation mapping of the current state of forest vegetation based on the data of remote sensing and ground observations // Dong Suocheng, Sun Julin (Eds.) *Proceedings of the International Forum Sustainable Development of Noreast and Central Asia*. - Beijing: Academic Press, 2014. - P. 409-417.

Vladimirov I.N., Sofronov A.P., Sorokovoy A.A., Kobylkin D.V., Frolov A.A. Geoinformational modeling of the current state of vegetation cover of a region // *International Geographical Union Regional Conference: Geography, culture and society for our future Earth, 17-21 August 2015, Moscow, Russia, IGU 2015 Book of Abstract: IGU 2015 – 1680*. - P.324

Vladimirov I.N., Sorokovoy A.A., Kobylkin D.V. The study of heterogenic structure of vegetation of Baikal Range south-eastern slope on the base of remote sensing data // *Acta Geographica Silesiana*. - № 12. - 2012. - P. 47 – 55

Walter G-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J-M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. Ecological responses to recent climate change // *Nature*. - 2002. - Vol. 416. - P. 389-395.

Wang J., Li Z., Hu X., Wang J., Wang D., Qin P. The ecological potential of a restored abandoned quarry ecosystem in Mt. Mufu, Nanjing, China // *Ecological Engineering*. – 2011. - Vol. 37, Issue 6. - P. 833-841.

Wang J., Price K.P., Rich P.M. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains // *International Journal of Remote Sensing*. – 2001. – Vol. 22, Issue 18. - P. 3827-3844.

Wang Y., Pederson N., Ellison A.M., Buckley H.L., Case B.S., Liang E. and Julio Camarero J. Increased stem density and competition may diminish the positive effects of warming at alpine treeline // *Ecology*. – 2016. – Vol. 97, Issue 7. – P. 1668-1679.

Wanner H., Beer J., Butikofer J., Crowley T.J., Cubasch U., Fluckiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J.O., Kuttel M., Muller S.A., Prentice C., Solomina O., Stocker T.F., Tarasov P., Wagner M., Widmann M. Mid-to Late Holocene climate change: an overview // *Quaternary Science Reviews*. – 2008. - Vol. 27. – P. 1791-1828.

Wardle P., Coleman M.C. Evidence for rising upper limits of four native New Zealand forest trees // *New Zealand Journal of Botany*. – 1992. – Vol. 30, № 3. – P. 303–314.

Weisberg P.J., Baker W.L. Spatial variation in tree regeneration in the forest-tundra ecotone, Rocky Mountain National Park, Colorado // *Canadian Journal of Forest Research*. – 1995. – Vol. 25 (8). – P. 1326–1339.

White M.A., Thornton P.E., Running S.W., Nemani R.R. Parameterization and sensitivity analysis of the Biome-BGC terrestrial ecosystem model: Net primary production controls // *Earth Interactions*. - 2000. – Vol. 4, Issue 3 - P.1-85.

WHO risk assessment of human infection with avian influenza A(H7N9) virus. - Всемирная организация здравоохранения (2 октября, 2014 г.). [Электронный ресурс]. –

[http://www.who.int/influenza/human\\_animal\\_interface/influenza\\_h7n9/riskassessment\\_h7n9\\_2Oct14.pdf?ua=1](http://www.who.int/influenza/human_animal_interface/influenza_h7n9/riskassessment_h7n9_2Oct14.pdf?ua=1) (дата обращения 11.03.2017).

Woodward A., Schreiner E.G., Silsbee D.G. Climate, geography, and tree establishment in subalpine meadows of the Olympic Mountains, Washington, USA // *Arctic and Alpine Research*. – 1995. – Vol. 27, № 3. – P. 217–225.

World Heritage List. / World Heritage Centre. UNESCO - Официальный сайт комитета всемирного наследия ЮНЕСКО [Электронный ресурс]. - URL: <http://whc.unesco.org/en/list> (дата обращения 11.03.2017).

Wu J., David, J.L. A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications // *Ecological Modelling*. 2002. - Vol. 153. - P. 7–26.

Xiaoqiang Li, Zhou Jie, Shen Ji, Weng Chengyu, Zhao Hongli, Sun Qianli. Vegetation history and climatic variations during the last 14 ka BP inferred from a pollen record at Daihai Lake, north-central China // *Review of Palaeobotany and Palynology*. – 2004. - Vol. 132. - P. 195-205.

**А. Североазиатские гольцовые (высокогорные) геосистемы**

***А.1. Южносибирские***

**А.1.1. Горнотундровые (свыше 2100 м. над у.м)**

Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < - 30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

1. Денудационных вершин и выровненных водоразделов с редуцированным лишайниковым покровом
2. Выровненных поверхностей ерниково- лишайниковые на подзолах торфянистых, иллювиально-гумусово-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах
3. Понижений на плоских гольцовых поверхностях заболоченные осоково-моховые на тундровых дерновых, глеевых, органогенно-щебнистых почвах и подбурах

Склоновые

**Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < - 30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

4. Скальные и обвально-осыпные склоновые с разреженным растительным покровом на фрагментах органогенно-щебнистых почв
5. Солифлюкционного сноса щебнистые с редким растительным покровом на фрагментах органогенно-щебнистых, глеевых почв
6. Нивально- денудационные склоновые литоморфные с явлениями интенсивного и умеренного гравитационного сноса с разреженным растительным покровом на фрагментах органогенно-щебнистых, подзолах, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почв
7. Осыпные с лишайниковым покровом и фрагментами органогенно-щебнистых почв

**А.1.2. Альпинотипные (свыше 1900 м. над у.м)**

Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14 °C)*

8. Плосковершинных поверхностей и пологих приводораздельных склонов альпинотипные луга на тундровых дерновых, глеевых, органогенно-щебнистых почвах

Склоновые

**Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < - 30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

9. Склонов средней крутизны субальпинотипные луга в сочетании с травяно-кустарничковыми тундрами на луговых дерновых, торфянисто-перегнойных, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

10. Пологосклоновые альпийские луга с зарослями кустарничков (ерниковые, ивняковые) на подзолисто-глеевых, торфянисто-перегнойных, подзолистых почвах

## ***А.2. Байкало-Джугджурские***

А.2.1. Горнотудровые (свыше 1900 м. над у.м)

### Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < -30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

11. Поверхностей гольцового выравнивания лишайниковые среди каменистых россыпей

### Склоновые

#### **Освещенные**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < -30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

12. Солифлюкционного сноса пустошные с фрагментами органогенно-щебнистых, глеевых почв

13. Обвально-осыпные с фрагментами органогенно-щебнистых почв

14. Крутосклоновые и склонов средней крутизны гравитационного и солифлюкционного сноса с разреженными зарослями кедрового стланика на органогенно-щебнистых, подзолах, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

15. Склонов средней крутизны с кедровым стлаником на органогенно-щебнистых, подзолах, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

#### **Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < -30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

16. Нивально- денудационные скальные с разреженным растительным покровом на фрагментах органогенно-щебнистых, подзолах, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почв

### Долинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < -30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

17. Днищ трогов и долин с зарослями высокогорных кустарников в сочетании с луговинными тундрами на луговых дерновых, торфянисто-перегнойных, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

18. Долинные с кедровым стлаником на органогенно-щебнистых, подзолах, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

19. Межгорных понижений и днищ троговых долин с луговинами и кустарничками (ерниковые, ивняковые) в сочетании с мохово-лишайниковыми тундрами на органогенно-щебнистых, глеевых почвах и подбурах

## **Б. Североазиатские горнотаежные геосистемы**

### ***Б.1. Южносибирские***

Б.1.1. Подгольцово-редколесные (свыше 1900 м. над у.м)

### Склоновые

#### **Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14*

20. Склонов средней крутизны пихтовые с кустарниковым подлеском на органогенно-щебнистых, подзолах, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

21. Пологосклоновые кедровые с ольхово-ерниковым подлеском мохово-лишайниковые на подзолах иллювиально-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойных почвах

#### Долинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

22. Долинные еловые с лиственницей травяно-кустарничковые на подзолах иллювиально-гумусово-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойных почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

23. Долинные пихтовые с кедром на подзолах торфянистых, иллювиально-гумусово-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

24. Долинные и днищ котловин пихтовые с елью крупнотравные на буроземах грубогумусовых, подбурах, подзолах

#### Б.1.2. Высокогорные (редуцированного развития) (1900-1600 м. над у.м)

##### Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

25. Выровненных поверхностей кедровые с елью и пихтой на подзолах иллювиально-гумусово-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойных почвах

##### Склоновые

###### **Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--23°C,  $t_{cp}$  июля 11-14 °C)*

26. Склонов средней крутизны кедровые рододендроновые кустарничково-зеленомошные с баданом на перегнойно-карбонатных, дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных почвах

27. Склонов средней крутизны кедровые с елью и лиственницей кустарничково-зеленомошные на буроземах грубогумусовых, подбурах, подзолах

28. Склонов средней крутизны кедровые с лиственницей бадановые на перегнойно-карбонатных, дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных почвах

29. Пологосклоновые кедровые с пихтой со смешанным подлеском баданово-зеленомошные на перегнойно-карбонатных, дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных почвах

##### Долинные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

30. Долинные пихтовые с елью с подлеском из рододендрона даурского на дерновых лесных, торфянисто-перегнойных почвах, подбурах, подзолах

31. Долинные лиственнично-еловые кустарниковые травяно-зеленомошные на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах

Б.1.3. Среднегорные (ограниченного развития) (1600-1000 м. над у.м)

Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

32. Выровненных поверхностей кедровые с пихтой с подлеском из кедрового стланика баданово-чернично-зеленомошные на перегнойно-карбонатных, дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных почвах

Склоновые

**Теневые**

*Умеренно влажных (200-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

33. Склонов средней крутизны и пологосклоновые кедровые с пихтой чернично- травяно- зеленомошные, местами с баданом на подбурах оподзоленных, дерновых лесных, подзолистых почвах

34. Пологосклоновые кедровые с елью и лиственницей кустарничково-мелкотравно-зеленомошные на подзолистых, дерново-подзолистых, дерново-карбонатных, дерновых лесных почвах

35. Пологосклоновые кедровые с пихтой кустарничково- мелкотравно- зеленомошные на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, дерново-подзолистых почвах

36. Пологосклоновые и равнинные лиственничные с кедром кустарничковые на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, дерново-подзолистых почвах

**Освещенные**

*Умеренно влажных (200-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-23 °C)*

37. Склонов средней крутизны и пологосклоновые сосновые травянные с подлеском из рододедрона даурского остепненные на дерновых лесных и степных бескарбонатных почвах

38. Пологосклоновые сосновые с лиственницей со смешанным подлеском на подбурах, буроземах грубогумусовых, дерново-подбурах оподзоленных, подзолистых почвах

39. Пологосклоновые сосновые травянные с кустарниковым подлеском на дерновых лесных, дерново-подзолистых почвах

Долинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

40. Долинные кедровые с пихтой и елью хвощово-мелкотравно-зеленомошные на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, подзолистых почвах

41. Долинные сосновые с лиственницей травянные на подбурах оподзоленных, иллювиально-железистых, иллювиально-гумусовых почвах

42. Долинные и днищ котловин лиственничные с кедром и елью кустарничково-моховые на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, подзолистых почвах

Б.1.4. Низкогорные (оптимального развития) (1000-700 м. над у.м)

Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

43. Плоских поверхностей кедровые с пихтой кустарничкового-мелкотравно-зеленомошные на подзолистых, дерново-карбонатных, дерново-подзолистых, торфянисто-перегнойных почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

44. Плоских поверхностей сосновые с подлеском из рододендрона даурского на дерновых лесных железистых, дерново-подзолистых грубообломочных почвах

#### Склоновые

##### **Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января <- 30°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

45. Пологосклоновые кедровые с елью и лиственницей с подлеском из кедрового стланика кустарничково-мохово-лишайниковые на подзолах торфянистых, иллювиально-гумусово-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

46. Пологосклоновые пихтовые с кедром чернично-зеленомошные на дерновых лесных железистых, дерново-подзолистых грубообломочных почвах

47. Пологосклоновые еловые с лиственницей и кедром мелкотравно-зеленомошные на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, подзолистых почвах

48. Пологосклоновые пихтовые с елью травяно-моховые на дерново-подзолистых, дерновых лесных, торфянисто-перегнойных почвах

##### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 14-23 °C)*

49. Склонов средней крутизны и пологосклоновые сосновые травяные в сочетании со степями на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

50. Пологосклоновые сосновые с лиственницей кустарничково-травяные с ольховым подлеском на дерново-подзолистых, дерновых лесных почвах на суглинистых отложениях

51. Пологосклоновые сосновые с примесью лиственницы травяно-брусничные на дерново-подзолистых, дерновых лесных почвах на суглинистых отложениях

#### Долинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

52. Долинные лиственничные с кедром и елью травяных и травяно-моховых болот на иллювиальных слоистых, дерновых, болотных луговых почвах на суглиннисто-галечниковых и песчано-супесчаных отложениях

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

53. Долинные сосновые бруснично-травяные на иллювиальных слоистых, дерновых, болотных луговых почвах на суглиннисто-галечниковых и песчано-супесчаных отложениях



- 54. Долинные лугов в сочетании с сосновыми парковыми редколесьями на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах
- 55. Долинные сосновые с подлеском из ивы луговые (лугово-тальниковые) на аллювиальных серугумусовых и темногумусовых, торфяно-глеевые почвах
- 56. Долинные сосновые остепненных лугов на аллювиальных слоистых, дерновых, болотных луговых почвах на суглиннисто-галечниковых и песчано-супесчаных отложениях

#### Б.1.5. Подгорные (оптимального развития) (700-500 м. над у.м)

##### **Теневые**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

- 57. Пологосклоновые кедровые с елью и лиственницей бруснично-зеленомошные на подзолистых, дерновых лесных, подзолисто-глеевых, торфянисто-перегнойных почвах
- 58. Равнинные и днищ котловин елово-кедровые с лиственницей и пихтой кустарничково-зеленомошные на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, дерново-подзолистых почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

- 59. Равнинные кедровые с пихтой мохово-травяные на подбурах оподзоленных, дерновых лесных, подзолистых почвах
- 60. Пологосклоновые пихтовые с кедром чернично-травяно-моховые на дерново-ползолистых, дерновых лесных почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18 °С,  $t_{cp}$  июля 17-23 °С)*

- 61. Равнинные пихтовые с кедром и елью травяные на дерновых лесных железистых, дерново-ползолистых грубообломочных почвах
- 62. Внутренних дельт болотные с кустарничково-осоково-моховым покровом в сочетании с осоковыми лугами и сосновыми лесами на болотных, луговых, аллювиальных почвах

##### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

- 63. Равнинные сосновые кустарничково-травяные остепненные на дерновых лесных и степных бескарбонатных почв среди скальных выходов, осыпей
- 64. Равнинные и днищ котловин сосновые с подлеском из рододендрона даурского на дерновых лесных, дерново-подзолистых, дерново-карбонатных суглинистых почвах, иногда песчаных

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18 °С,  $t_{cp}$  июля 17-23 °С)*

- 65. Равнинные и днищ котловин сосновые бруснично-разнотравные с кустарничковым подлеском на дерновых лесных и степных бескарбонатных почвах
- 66. Равнинные сосновые травяно-брусничные на дерново-карбонатных выщелоченных типичных, оподзоленных почвах
- 67. Равнинные сосновые злаково-разнотравные остепненные на серых лесных почвах, черноземах выщелоченных на суглинистых отложениях

#### **Б.2. Среднесибирские**

Б.2.1. Среднегорные (ограниченного развития) (1600-1000 м. над у.м)

Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

68. Плоских поверхностей пихтовые с елью и кедром чернично-травяно-зеленомошные на подзолистых, дерново-подзолистых, дерново-карбонатных, дерновых лесных почвах

69. Выровненных поверхностей лиственничные кустарничково-зеленомошные на торфянисто-перегнойных заболоченных, торфянистых, дерново-глеевых слабодренированных почвах мелко-полигональных равнин с кислыми и туфогенными многолетнемерзлыми породами

Склоновые

**Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

70. Пологосклоновые еловые с пихтой и кедром голубично-мелкотравно-зеленомошные на подзолистых, дерново-подзолистых, дерново-карбонатных, дерновых лесных почвах

**Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < -30°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

71. Пологосклоновые лиственничные с примесью ели с ольховым подлеском кустарничково-моховые на торфянисто-перегнойных заболоченных, торфянистых, дерново-глеевых слабодренированных почвах с кислыми и туфогенными многолетнемерзлыми породами

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < -30°C,  $t_{cp}$  июля 14-17 °C)*

72. Пологосклоновые сосновые лишайниково-мохово-брусничные на подзолистых, дерновых лесных, дерново-подзолистых песчано-супесчаных почвах

Б.2.2. Низкогорные (оптимального развития) (1000-700 м. над у.м)

Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

73. Пологосклоновые пихтовые с елью бруснично-крупнотравно-зеленомошные на дерново-подзолистых, дерновых лесных почвах на суглинистых отложениях

Склоновые

**Теневые**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < -30°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

74. Склонов средней крутизны и пологосклоновые лиственничные с примесью ели с ольховым подлеском кустарничково-моховые на торфянисто-перегнойных заболоченных, торфянистых, дерново-глеевых слабодренированных почвах с кислыми и туфогенными многолетнемерзлыми породами

**Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < -30°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

75. Пологосклоновые лиственничные с сосной с ольховым подлеском кустарничково-зеленомошные на торфянисто-перегнойных заболоченных, торфянистых, дерново-глеевых слабодренированных почвах

### **Б.3. Байкало-Джугджурские**

Б.3.1. Подгольцово-редколесные (свыше 1900 м. над у.м)

#### Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < - 30°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

76. Вершинных поверхностей лиственничные с кедром на подзолах торфянистых, иллювиально-гумусово-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

77. Приводораздельных поверхностей с разреженными зарослями кедрового стланика на обнажениях коренных пород, курумах, осыпях с фрагментами органогенно-щебнистых, глеевых почв и подбуров

78. Выровненных поверхностей лиственничные на подзолах иллювиально-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойных почвах

#### Склоновые

##### **Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < - 27°C,  $t_{cp}$  июля < 14°C)*

79. Крутых склонов кедровые с подлеском из кедрового стланика на подбурах оподзоленных, дерновых лесных, подзолистых почвах

80. Склонов средней крутизны еловые с подлеском из кедрового стланика на подзолистых, дерново-карбонатных, дерново-подзолистых, торфянисто-перегнойных почвах

81. Склонов средней крутизны с лиственничными редколесьями и днищ трогов с парковыми рощами каменной березы на подбурах, подзолах иллювиально-железистых, торфянисто-перегнойных почвах

##### **Освещенные**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < - 30°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

82. Пологосклоновые лиственничные на органогенно-щебнистых, подзолах, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

#### Долинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < - 30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

83. Днищ котловин и троговых долин лиственничные ерниково-кедровостланиковые на органогенно-щебнистых, подзолах, полбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах среди каменистых россыпей

84. Долинные и днищ котловин лиственничные на подбурах типичных, подзолах иллювиально-малогумусовых

Б.3.2. Высокогорные (редуцированного развития) (1900 -1600 м. над у.м)

#### Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января < - 30°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

85. Выровненных поверхностей лиственничные с подлеском из кедрового стланика на подзолистых, дерново-карбонатных, дерново-подзолистых, торфянисто-перегнойных почвах

86. Выровненных поверхностей лиственничные на подзолах иллювиально-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойных почвах

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14 °C)*

87. Привершинные и и выровненных поверхностей темнохвойно-лиственничные на подзолах иллювиально-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойных почвах

#### Склоновые

##### **Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января <- 27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

88. Склонов средней крутизны и пологосклоновые лиственничные с подлеском из кедрового стланика на подбурах, подзолах иллювиально-железистых, торфянисто-перегнойных почвах

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января <- 30°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

89. Пологосклоновые лиственничные редкостойные со смешанным подлеском на криоземах, подбурах, торфяно-литоземах

##### **Освещенные**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января <- 27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

90. Склонов средней крутизны и пологосклоновые лиственничные со смешанным подлеском лишайниковые на подбурах, подзолах, дерново-подзолах, дерново-подбурах

#### Долинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января -30-- 27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

91. Долинные и днищ котловин кедровые с пихтой со смешанным подлеском, с участием кедрового стланика на органогенно-щебнистых, подзолах, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

92. Долинные и днищ котловин лиственничные с кедром на подбурах, подзолах иллювиально-железистых, торфянисто-перегнойных почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января <-30°C,  $t_{cp}$  июля <14°C)*

93. Долинные и днищ котловин еловые редколесные ерниково-кедровостланиковые на подзолах торфянистых, иллювиально-гумусово-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

94. Долинные лиственничные с подлеском из кедрового стланика на подбурах, подзолах иллювиально-железистых, торфянисто-перегнойных почвах

95. Долинные и днищ котловин лиственничные редкостойные с ерниковым подлеском на подбурах, подзолах иллювиально-железистых, торфянисто-перегнойных почвах

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января <- 30°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

96. Днищ котловин лиственничные с примесью сосны на подбурах, подзолах, дерново-подзолах, дерново-подбурах

#### **Б.3.3. Среднегорные (ограниченного развития) (1600-1000 м. над у.м)**

##### Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30-- 27°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

97. Выровненных поверхностей лиственничные со смешанным подлеском, с преобладанием ерников на перегнойно-карбонатных, дерново-карбонатных, дерново-подзолистых, дерновых лесных почвах

98. Плоских поверхностей лиственничные с примесью кедра бруснично-багульниковые на дерново-подзолистых, дерновых лесных, торфянисто-перегнойных почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30-- 27°C,  $t_{cp}$  июля 11-14°C)*

99. Выровненных поверхностей и пологих склонов из кедра, пихты и ели на подзолах торфянистых, иллювиально-гумусово-железистых, подбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

### Склоновые

#### **Теневые**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23°C,  $t_{cp}$  июля 17-23°C)*

100. Склонов средней крутизны лиственничные с примесью ели и кедра с подлеском из ольхи кустарниковой на дерново-карбонатных выщелоченных, оподзоленных, дерново-подзолистых почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30-- 27°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

101. Склонов средней крутизны лиственничные с кедром и смешанным подлеском на дерново-подбурах, серые метаморфических почвах, подбурах грубогумусированных

102. Пологосклоновые лиственничные с примесью ели и кедра со смешанным подлеском кустарничково-моховые на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, подзолистых почвах

#### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

103. Пологосклоновые лиственничные моховые с ерниковым подлеском

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января <-30°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

104. Склонов средней крутизны и пологосклоновые лиственничные со смешанным подлеском на перегнойно-карбонатных, дерново-карбонатных, дерново-подзолистых, дерновых лесных почвах

105. Склонов средней крутизны и пологосклоновые лиственничные с сосной на подбурах, подзолах, дерново-подбурах, дерново-подзолистых почвах

106. Пологосклоновые лиственничные рододендроновые с ерниковым подлеском

### Долинные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30-- 27°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

107. Долинные лиственничные ерниковые на болотных, луговых, иллювиальных почвах преимущественно с мерзлотой

108. Долинные лиственничные мохово-ерниковые на иллювиальных серогумусовых и темногумусовых, торфяно-глеевых почвах

109. Долинные лиственничные багульниковые с редким подлеском на подбурах, буроземах грубогумусовых, дерново-подбурах оподзоленных, подзолистых почвах

110. Долинные лиственничные с елью, тополем и чозенией на подбурах, подзолах иллювиально-железистых, торфянисто-перегнойных почвах

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

111. Долинные листовенничные сфагновых болот в сочетании с ерниками на аллювиальных серогумусовых и темnogумусовых, торфяно-глеевых почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января <-30 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

112. Долинные листовенничные сфагново-кустарничковые

#### Б.3.4. Низкогорные (оптимального развития) (1000-700 м. над у.м)

##### Водораздельные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

113. Плоских поверхностей листовенничные с кустарниковым подлеском на карбо-литоземах темnogумусовых и перегнойных

114. Выровненных поверхностей листовенничные с примесью ели и кедра с преобладанием ерникового подлеска на подзолистых, дерново-карбонатных, дерново-подзолистых, торфянисто-перегнойных почвах

##### Склоновые

###### **Теневые**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-23 °С)*

115. Склонов средней крутизны листовенничные с кустарниковым подлеском на подбурах, подзолах, дерново-подзолах, дерново-подбурах

116. Пологосклоновые листовенничные травяные с редким подлеском на подбурах, подзолах, дерново-подзолах, дерново-подбурах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30-- 27 °С,  $t_{cp}$  июля 11-14 °С)*

117. Пологосклоновые листовенничные с сосной разнотравные на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах

###### **Освещенные**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30-- 27 °С,  $t_{cp}$  июля 11-14 °С)*

118. Склонов средней крутизны листовенничные с сосной со смешанным подлеском на криоземах, подбурах, торфяно-литоземах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

119. Пологосклоновые листовенничные с сосной с подлеском из рододендрона даурского на перегнойно-карбонатных, дерново-карбонатных, дерново-подзолистых, дерновых лесных почвах

120. Пологосклоновые листовенничные с сосной бруснично-разнотравные на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах

##### Долинные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января <-30 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

121. Долинные листовенничные бруснично- травяные с кустарниковым подлеском на серых метаморфических, серых, темно-серых почвах

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

122. Долинные лиственничные заболоченных лугов в сочетании с болотами и ерниками на лугово-болотных перегнойных почвах с пойменно-луговыми

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30-- 27 °С,  $t_{cp}$  июля 17-23 °С)*

123. Долинные лиственничные с елью, пихтой на дерново-карбонатных выщелоченных, оподзоленных, дерново-подзолистых почвах

Б.3.5. Подгорные (оптимального развития) (700-500 м. над у.м)

#### **Теневые**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-23 °С)*

124. Подгорные лиственничные травяные с редким подлеском, местами остепненные на подбурях типичных и грубогумусированных, дерново-подбурях, буроземах грубогумусовых

125. Днищ котловин лиственничные с ерниковым подлеском багульниковые на дерновых таежных насыщенных почвах, подбурях перегнойных и подзолах

126. Днищ котловин лиственничные со смешанным подлеском на серых метаморфических, серых, темно-серых почвах

127. Долинные лиственничные заболоченных лугов на болотных, луговых, аллювиальных почвах преимущественно с мерзлотой  
*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

128. Днищ котловин лиственничные с кустарниковым подлеском из рододендрона даурского на подзолах иллювиально-гумусово-железистых, подбурях, торфянисто-перегнойных почвах

#### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-23 °С)*

129. Подгорные лиственничные с сосной кустарничково-травяные на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах

130. Подгорные лиственничные травяные с кустарниковым подлеском на подбурях, буроземах грубогумусовых, дерново-подбурях оподзоленных, подзолистых почвах

131. Подгорные лиственничные луговых степей разнотравно-злаковые на серых метаморфических, серых, темно-серых почвах

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января <-30 °С,  $t_{cp}$  июля 11-14 °С)*

132. Днищ котловин лиственничные со смешанным подлеском, с преобладанием ерников на подбурях, подзолах иллювиально-железистых, торфянисто-перегнойных почвах

133. Днищ котловин лиственничные с сосной на дерновых лесных, остаточного-аллювиальных почвах, подзолах на суглинистых и песчано-галечниковых отложениях

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27-- 23 °С,  $t_{cp}$  июля 14-17 °С)*

134. Днищ котловин лиственничные с сосной разнотравные на дерновых лесных, дерново-подзолистых почвах на суглинистых хрящеватых отложениях

## **В. Североазиатские таежные геосистемы**

### ***В.1. Среднесибирские***

### В.1.1. Северотаежные (редуцированного развития)

#### Водораздельные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января  $< -30^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{cp}$  июля  $14-17^{\circ}\text{C}$ )*

135. Плакорные листовенничные с примесью ели кустарничково-моховые с ерником на торфянисто-перегнойных заболоченных, торфянистых, дерново-глеевых слабодренированных почвах с кислыми и туфогенными многолетнемерзлыми породами

136. Водораздельных понижений листовенничные с ерниковым подлеском на болотных, луговых, аллювиальных почвах

### В.1.2. Среднетаежные (ограниченного развития)

#### Водораздельные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января  $-30--27^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{cp}$  июля  $14-17^{\circ}\text{C}$ )*

137. Плакорные и пологих склонов листовенничные кустарничково-зеленомошные на дерново-подзолистых, дерново-карбонатных, торфянисто-перегнойных почвах

#### Склоновые

##### **Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января  $-30--27^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{cp}$  июля  $14-17^{\circ}\text{C}$ )*

138. Плоских поверхностей и пологих склонов листовенничные с примесью кедра и ели с ольховым подлеском кустарничково-мелкотравно-зеленомошные на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, дерново-подзолистых почвах

139. Пологосклоновые еловые с листовенницей кустарничково-моховые на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, дерново-подзолистых почвах

##### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января  $< -30^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{cp}$  июля  $14-17^{\circ}\text{C}$ )*

140. Пологосклоновые возвышенных равнин листовенничные с сосной с ольховым подлеском лимнасово-мелкотравные на дерновых лесных железистых, дерново-подзолистых почвах

141. Пологосклоновые сосновые кустарничково-зеленомошные на подзолистых, дерновых лесных, дерново-подзолистых песчано-супесчаных почвах

142. Пологосклоновые сосновые осоково-голубично-моховые на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах

#### Долинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января  $-30--27^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{cp}$  июля  $14-17^{\circ}\text{C}$ )*

143. Днищ котловин и троговых долин листовенничные ерnikово-кедровостланиковые на органогенно-щебнистых, подзолах, полбурах, торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

144. Долинные и днищ котловин листовенничные на подбурах типичных, подзолах иллювиально-малогумусовых

145. Озерных впадин и долин листовенничные кустарничково-сфагновых болот с ерником на торфянисто-перегнойных заболоченных, торфянистых, дерново-глеевых почвах с кислыми и туфогенными многолетнемерзлыми породами

### В.1.3. Южнотаежные (оптимального развития)



### Водораздельные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18°C,  $t_{cp}$  июля 17-23°C)*

146. Плоских поверхностей и пологосклоновые пихтовые с елью травяно-зеленомошные и высокотравные на дерново-подзолистых, подзолистых, дерновых лесных, дерново-карбонатных почвах

### Склоновые

#### **Теневые**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

147. Пологосклоновые возвышенных равнин пихтовые с кедром мохово-травяные на дерново-подзолистых, подзолистых, дерновых лесных, дерново-карбонатных почвах

148. Пологосклоновые кедрово-пихтовые с примесью лиственницей мелкотравно-зеленомошные на дерновых лесных железистых, дерново-подзолистых грубообломочных почвах

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

149. Пологосклоновые и склонов средней крутизны еловые с кедром зеленомошные на подзолистых, дерново-подзолистых, дерново-карбонатных, дерновых лесных почвах

150. Пологосклоновые возвышенных равнин кедровые с елью и лиственницей зеленомошно-брусничные на дерново-карбонатных оподзоленных, выщелоченных, дерново-подзолистых почвах

#### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

151. Пологосклоновые сосновые бруснично-зеленомошные на дерново-подзолистых, подзолистых, дерновых лесных, дерново-карбонатных почвах

### Долинные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--18°C,  $t_{cp}$  июля 17-23°C)*

152. Долинные еловые тальниковые с болотами на болотных, луговых, аллювиальных почвах преимущественно с мерзлотой

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -30--27°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

153. Долинные еловые с лиственницей и сосной травяные и травяно-моховые на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах

154. Низких равнин еловые с кедром моховые на торфянисто-перегнойных, дерновых лесных почвах

155. Низинные заболоченные кедровые с елью и лиственницей на болотных, луговых, аллювиальных почвах

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -27--23°C,  $t_{cp}$  июля 14-27°C)*

156. Долинные лиственнично-еловые с кедром травяно-кустарничково-моховые с развитым подлеском на торфянисто-перегнойных, подзолистых, дерновых лесных почвах

### **В.1.4. Подтаежные (оптимального развития)**

#### Равнинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января -27--30°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

157. Равнинные сосновые лишайниковые, толокняно-лишайниковые, лишайниково-брусничные на дерновых лесных, дерново-подзолистых, дерново-карбонатных суглинистых почвах с карбонатными прослоями, иногда песчаные

158. Равнинные лиственничные травяные на дерново-карбонатных выщелоченных, типичных, оподзоленных почвах

#### Склоновые

##### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -18--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

159. Пологосклоновые и плоских поверхностей сосновые травяные на дерновых лесных, дерново-подзолистых, подзолистых почвах на кислых или туфогенных отложениях

#### Долинные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -18--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

160. Равнинные и днищ котловин сосновые бруснично-толокнянковые или лишайниковые на аллювиальных слоистых, дерновых, болотных луговых почвах на суглинисто-галечниковых и песчано-супесчаных отложениях

### ***В.2. Байкало-Джугдзурские***

#### **В.2.1. Южнотаежные (оптимального развития)**

#### Склоновые

##### **Освещенные**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -18--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

161. Равнинные и пологосклоновые сосновые с березой и лиственницей травяные на дерновых лесных, дерново-подзолистых, подзолистых почвах на кислых или туфогенных отложениях (на месте преобразованных таежных темнохвойных геосистем)

162. Равнинные и пологосклоновые лиственничные с сосной травяные остепненные на подбурях типичных и грубогумусированных, дерново-подбурях, буроземах грубогумусовых

#### **В.2.2. Лесо-степные комплексы**

#### Склоновые

##### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -18--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

163. Пологосклоновые лиственничные травяные остепненные

164. Пологосклоновые лиственничные травяные в сочетании с лугами и разнотравными степями

165. Долинные лиственничные луговые со злаковым, иногда остепненным покровом на дерновых лесных и степных бескарбонатных почвах

### ***В.3. Амуро-Сахалинские***

#### **В.3.1. Подтаежные (оптимального развития)**

#### Склоновые

##### **Освещенные**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

166. Подгорных равнин и предгорных возвышенностей березовые с кустарничково-травяным покровом в сочетании с луговыми степями

В.3.2. Южнотаежные (оптимального развития)

Склоновые

**Освещенные**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

167. Равнинные лиственничные травяные (разнотравно-осоковые) и травяно-кустарничковые с редким подлеском

В.3.3. Среднетаежные (ограниченного развития)

Долинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и умеренно холодных условий ( $t_{cp}$  января > - 30°C,  $t_{cp}$  июля 14-17°C)*

168. Долинные и днищ котловин лиственничные травяных марей и кустарничково- и травяно-сфагновые с ерниковым подлеском

**Г. Североазиатские степные геосистемы**

**Г.1. Южносибирские**

Склоновые и террасные

**Освещенные**

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и холодных условий ( $t_{cp}$  января > - 30°C,  $t_{cp}$  июля < 11°C)*

169. Склонов средней крутизны остепненно-луговые мелкозлаково-осоковые

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -18--23°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

170. Пологосклоновые и равнинные лугово-степные разнотравно-крупнозлаковые на черноземах обыкновенных, выщелоченных на суглинистых отложениях

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -18--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

171. Склонов средней крутизны и пологосклоновые каменистые низкоразнотравные и полынные на каштановых маломощных, каштановых гидрометаморфизованных почвах

172. Пологосклоновые разнотравные осоково-лапчатковые и осоково-лапчатково-полынные на солончаках, солонцах, светлогумусовых засоленных, каштановые засоленных, черноземах засоленных (солонцеватых)

173. Пологосклоновые мелкодерновинно- злаковые на каштановых, дерновых степных, каштановидных почвах

174. Пологосклоновые злаковые (змеевково-вострецовые) на дерново-подбурях и псаммоземах гумусовых

175. Пологосклоновые и равнинные мелкодерновинно-злаковые типчаковые на каштановых, дерновых степных, каштановидных почвах

176. Пологосклоновые и равнинные осоково-дерновинно-злаковые в сочетании с полынными степями на дерново-подбурях, каштановых почвах, и развеечными песками

Долинные и котловинные

*Умеренно влажных (400-800 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -18--23°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

177. Долинные и низинные луговые в сочетании с сазовыми (галоксерофильными) степями и кустарниками на луговых, аллювиальных дерновых, лугово-черноземных почвах  
*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -18--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*
178. Долинные осоково-злаковые лугово-болотные солонцеватые на аллювиальных слоистых, дерновых, болотных луговых почвах на суглиннисто-галечниковых и песчано-супесчаных отложениях
179. Долинные вострецовые лугово-степные на черноземах обыкновенных, выщелоченных
180. Днищ котловин кобрезиево-типчаковые и низкотравные остепненно-луговые на луговых, аллювиальных дерновых, лугово-черноземных почвах на суглинистых и песчано-галечниковых отложениях

## **Д. Центральноазиатские степные геосистемы**

### **Д.1. Западнобайкальские**

#### Водораздельные

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

181. Высоких денудационных поверхностей травяно-степные пижмовые
182. Плакорные разнотравно-тырсовые

#### Склоновые

##### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

183. Пологосклоновые разнотравно-типчаково-тырсовые на черноземах обыкновенных, выщелоченных на суглинистых отложениях
184. Пологосклоновые тырсово-пижмовые
185. Пологосклоновые караганово-тырсовые с типчаковыми степями
186. Пологосклоновые и равнинные пижмово-разнотравные

#### Долинные и котловины

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{cp}$  января -23--27°C,  $t_{cp}$  июля 17-23 °C)*

187. Бессточных депрессий солончаковые и солончаковато-луговые
188. Низинные ирисово-луговые в сочетании с вострецово-степными и солончаками на аллювиальных серугумусовых и темногумусовых, торфяно-глеевые почвах
189. Долинные лугово-болотные солончаковатые на аллювиальных серугумусовых и темногумусовых, торфяно-глеевые почвах
190. Долинные лугово-гальниково-тополевые остепненные
191. Днищ падей мелкодерновинно-злаковые пятнистые в сочетании с галофитно-луговыми на черноземах обыкновенных, выщелоченных на суглинистых отложениях
192. Днищ котловин крупнозлаковые ковыльно-житняковые на каштановых, дерновых степных, каштановидных почвах

### **Д.2. Северомонгольские**

#### Склоновые

### **Освещенные**

*Умеренно сухих (200-400 мм/год) и теплых условий ( $t_{\text{ср}}$  января -23--27°C,  $t_{\text{ср}}$  июля 17-23 °C)*

193. Пологосклоновые разнотравно-типчаково-пижмовые на дерново-подбурах, светлогумусовых, каштановых почвах

194. Пологосклоновые и равнинные караганово- злаковые на каштановых, дерновых степных, каштановидных почвах

## Приложение 2

### Средние величины (средняя арифметическая, медиана) и среднее квадратическое отклонение различных показателей геосистем Байкальской Сибири ранга геомов

Геом <sup>1</sup>	Значение	Высота, м	Экспозиция <sup>2</sup> , град	Осадки, мм/год	Средняя температура января, °С	Средняя температура июля, °С	Первичная биологическая продуктивность, кгС/м <sup>2</sup> ·год <sup>-1</sup>
1	среднее	1981,95	170,83	569,21	-28,73	9,79	2183,60
	медиана	2004,98	176,95	508,01	-29,10	9,60	1925,50
	ст. отклонение	341,24	116,70	172,25	2,85	1,88	1576,54
2	среднее	1737,26	186,13	481,16	-29,74	10,64	2273,26
	медиана	1804,50	180,08	459,00	-29,20	10,30	2065,50
	ст. отклонение	452,75	117,08	112,90	3,23	2,07	1563,37
3	среднее	1506,66	187,19	492,97	-32,73	11,45	2385,32
	медиана	1509,98	180,30	493,01	-33,20	11,40	2074,00
	ст. отклонение	340,13	109,97	45,78	3,72	1,78	2129,56

<sup>1</sup> Геомы: 1. Южносибирские горнотундровые, 2. Южносибирские альпинотипные, 3. Байкало-Джугджурские горнотундровые, 4. Южносибирские подгольцово-редколесные, 5. Южносибирские высокогорные (редуцированного развития), 6. Южносибирские среднегорные (ограниченного развития), 7. Южносибирские низкогорные (оптимального развития), 8. Южносибирские подгорные (оптимального развития), 9. Среднесибирские среднегорные (ограниченного развития), 10. Среднесибирские низкогорные (оптимального развития), 11. Байкало-Джугджурские подгольцово-редколесные, 12. Байкало-Джугджурские высокогорные (редуцированного развития), 13. Байкало-Джугджурские среднегорные (ограниченного развития), 14. Байкало-Джугджурские низкогорные (оптимального развития), 15. Байкало-Джугджурские подгорные (оптимального развития), 16. Среднесибирские северотаежные (редуцированного развития), 17. Среднесибирские среднетаежные (ограниченного развития), 18. Среднесибирские южнотаежные (оптимального развития), 19. Среднесибирские Подтаежные (оптимального развития), 20. Байкало-Джугджурские южнотаежные (оптимального развития), 21. Байкало-Джугджурские лесостепные, 22. Амуро-Сахалинские подтаежные (оптимального развития), 23. Амуро-Сахалинские южнотаежные (оптимального развития), 24. Амуро-Сахалинские среднетаежные (ограниченного развития), 25. Южносибирские степные, 26. Западнобайкальские степные, 27. Северомонгольские степные.

<sup>2</sup> 0° - направление на север. Склоны северной экспозиции (0-22,5°; 337,5-360°), северо-восточной (22,5-67,5°), восточной (67,5-112,5°), юго-восточной (112,5-157,5°), 5 - южной (157,5-202,5°), 6 - юго-западной (202,5-247,5°), 7 - западной (247,5-292,5°), 8 - северо-западной (292,5-337,5°).

## Продолжение приложения 2

Геом	Значение	Высота, м	Экспозиция, град	Осадки, мм/год	Средняя температура января, °С	Средняя температура июля, °С	Первичная биологическая продуктивность, кгС/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>
4	среднее	1246,72	179,09	515,18	-26,77	13,42	3620,30
	медиана	1198,50	179,93	456,00	-26,20	13,70	3813,50
	ст. отклонение	479,50	121,46	188,81	3,52	2,34	1407,82
5	среднее	1176,93	181,37	496,66	-25,92	14,07	4069,52
	медиана	1202,49	179,92	449,99	-25,90	14,10	4232,00
	ст. отклонение	430,46	118,13	150,30	1,99	1,88	1008,42
6	среднее	819,52	189,89	414,56	-25,68	15,84	4173,85
	медиана	814,02	180,68	404,01	-25,50	15,90	4267,00
	ст. отклонение	236,69	112,12	69,90	2,13	1,32	1017,09
7	среднее	672,61	179,84	427,73	-24,15	16,41	4330,82
	медиана	608,01	180,01	412,00	-23,40	16,50	4443,00
	ст. отклонение	261,98	113,54	73,68	2,72	1,25	1373,34
8	среднее	550,99	182,25	399,04	-23,25	16,93	4352,37
	медиана	524,02	179,99	390,99	-22,30	17,00	4421,00
	ст. отклонение	171,33	114,86	46,37	2,36	0,84	1841,37
9	среднее	498,58	174,38	395,36	-27,19	16,48	3835,51
	медиана	497,99	177,59	400,00	-28,10	16,40	3935,00
	ст. отклонение	91,76	110,85	20,57	3,43	0,45	924,77
10	среднее	412,13	175,50	375,97	-27,36	16,65	3695,85
	медиана	398,01	177,29	373,01	-26,80	16,80	3920,00
	ст. отклонение	79,34	106,24	28,59	4,79	0,71	1199,48

## Продолжение приложения 2

Геом	Значение	Высота, м	Экспозиция, град	Осадки, мм/год	Средняя температура января, °С	Средняя температура июля, °С	Первичная биологическая продуктивность, кгС/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>
11	среднее	1201,05	186,89	467,78	-32,79	13,07	2852,96
	медиана	1172,01	180,35	468,00	-33,80	13,20	2659,00
	ст. отклонение	300,14	109,53	43,61	3,23	1,54	1264,02
12	среднее	1014,84	187,57	438,56	-32,09	14,18	3464,37
	медиана	992,99	180,03	438,00	-32,70	14,40	3586,00
	ст. отклонение	289,24	110,23	38,83	2,76	1,48	1123,17
13	среднее	928,65	186,49	415,79	-29,31	15,39	3933,01
	медиана	905,02	179,62	410,00	-29,50	15,50	4027,00
	ст. отклонение	284,26	108,95	58,27	3,09	1,29	910,40
14	среднее	994,63	182,66	423,65	-26,85	15,74	3819,91
	медиана	960,00	179,06	403,01	-26,90	16,10	3838,00
	ст. отклонение	353,07	106,99	85,62	2,83	1,78	1100,46
15	среднее	832,87	195,67	390,17	-28,06	15,80	3744,89
	медиана	801,00	180,35	381,00	-27,60	16,10	3753,00
	ст. отклонение	295,85	106,90	55,63	3,58	1,59	1771,57
16	среднее	347,11	168,49	349,96	-32,33	16,03	2442,31
	медиана	343,99	171,64	346,99	-32,20	16,10	2384,00
	ст. отклонение	48,01	108,29	18,00	1,29	0,34	683,09
17	среднее	398,90	177,40	370,50	-30,73	16,30	2967,43
	медиана	395,99	178,29	373,01	-30,60	16,30	2887,00
	ст. отклонение	83,96	107,44	27,30	2,46	0,52	930,10



## Продолжение приложения 2

Геом	Значение	Высота, м	Экспозиция, град	Осадки, мм/год	Средняя температура января, °С	Средняя температура июля, °С	Первичная биологическая продуктивность, кгС/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>
18	среднее	444,62	182,70	385,96	-25,13	16,94	4075,79
	медиана	439,98	180,85	388,01	-24,80	16,90	4175,00
	ст. отклонение	108,53	107,68	21,99	3,14	0,55	911,37
19	среднее	447,68	175,94	392,50	-24,07	17,01	4459,18
	медиана	439,98	176,24	391,99	-23,20	17,10	4449,00
	ст. отклонение	112,23	106,93	30,87	2,82	0,55	1626,55
20	среднее	556,15	177,07	395,64	-23,95	17,22	4253,08
	медиана	500,01	179,98	385,00	-22,70	17,30	4290,00
	ст. отклонение	191,65	99,56	38,73	3,18	0,62	2008,55
21	среднее	843,28	182,27	379,94	-27,16	17,37	3529,99
	медиана	843,98	178,48	379,00	-27,80	17,50	3436,00
	ст. отклонение	190,58	104,39	41,57	2,64	1,12	1066,33
22	среднее	766,42	174,24	412,87	-28,49	17,29	3721,48
	медиана	764,99	174,87	416,00	-28,65	17,30	3741,50
	ст. отклонение	113,88	90,20	30,38	0,93	0,79	962,59
23	среднее	566,47	236,02	427,27	-29,67	17,11	4102,10
	медиана	585,00	252,02	426,00	-29,70	17,10	4243,00
	ст. отклонение	88,49	80,78	7,77	0,42	0,56	600,46
24	среднее	698,39	187,68	420,42	-30,41	16,17	3905,63
	медиана	659,01	179,92	419,99	-30,10	16,30	4072,00
	ст. отклонение	160,21	106,95	13,94	1,10	0,88	1050,98

Продолжение таблицы 2

Геом	Значение	Высота, м	Экспозиция, град	Осадки, мм/год	Средняя температура января, °С	Средняя температура июля, °С	Первичная биологическая продуктивность, кгС/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>
25	среднее	732,07	188,38	370,50	-24,45	17,75	2931,40
	медиана	700,01	179,44	361,99	-24,30	17,90	2725,00
	ст. отклонение	240,11	101,76	59,80	2,20	1,44	1854,81
26	среднее	663,31	178,21	355,13	-26,00	18,60	2869,09
	медиана	665,01	173,93	354,00	-26,20	18,70	2620,50
	ст. отклонение	108,23	96,36	38,33	2,12	1,00	1570,07
27	среднее	765,11	173,75	371,36	-25,87	18,34	2862,02
	медиана	747,99	174,69	367,00	-26,80	18,40	2783,00
	ст. отклонение	131,20	97,13	47,62	2,46	0,74	888,91

Приложение 3

Диапазоны значений устойчивости геосистем Байкальской Сибири ранга геомов

Геом	Диапазон	Высота, м		Экспозиция, град		Осадки, мм/год		Средняя температура января, °С		Средняя температура июля, °С		Первичная биологическая продуктивность, кг С/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
1	оптимальный	1305,51	2658,40	112,53	229,13	374,94	763,48	-18,93	-38,54	6,45	13,13	1438,34	2928,86
	субоптимальный	1036,17	1305,51	89,31	112,53	297,58	374,94	-15,02	-18,93	5,12	6,45	1141,59	1438,34
		2658,40	2927,74	229,13	252,35	763,48	840,83	-38,54	-42,44	13,13	14,46	2928,86	3225,61
	пессимальный	993,75	1036,17	85,65	89,31	285,40	297,58	-14,41	-15,02	4,91	5,12	1094,86	1141,59
		2927,74	2970,16	252,35	256,01	840,83	853,01	-42,44	-43,06	14,46	14,67	3225,61	3272,34
2	оптимальный	1144,33	2330,19	122,61	249,66	316,94	645,38	-19,59	-39,88	7,01	14,27	1497,40	3049,12
	субоптимальный	908,24	1144,33	97,31	122,61	251,55	316,94	-15,55	-19,59	5,56	7,01	1188,46	1497,40
		2330,19	2566,28	249,66	274,96	645,38	710,77	-39,88	-43,93	14,27	15,71	3049,12	3358,06
	пессимальный	871,06	908,24	93,33	97,31	241,25	251,55	-14,91	-15,55	5,33	5,56	1139,81	1188,46
		2566,28	2603,46	274,96	278,94	710,77	721,07	-43,93	-44,56	15,71	15,94	3358,06	3406,70
3	оптимальный	992,43	2020,88	123,30	251,08	324,72	661,23	-21,56	-43,89	7,54	15,35	1571,21	3199,43
	субоптимальный	787,68	992,43	97,86	123,30	257,73	324,72	-17,11	-21,56	5,98	7,54	1247,05	1571,21
		2020,88	2225,63	251,08	276,52	661,23	728,22	-43,89	-48,34	15,35	16,91	3199,43	3523,59
	пессимальный	755,44	787,68	93,86	97,86	247,18	257,73	-16,41	-17,11	5,74	5,98	1196,00	1247,05
		2225,63	2257,87	276,52	280,52	728,22	738,77	-48,34	-49,04	16,91	17,15	3523,59	3574,64

## Продолжение приложения 3

Геом	Диапазон	Высота, м		Экспозиция, град		Осадки, мм/год		Средняя температура января, °С		Средняя температура июля, °С		Первичная биологическая продуктивность, кг С/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
4	оптимальный	821,21	1672,22	117,96	240,21	339,35	691,02	-17,64	-35,91	8,84	18,00	2384,69	4855,91
	субоптимальный	651,78	821,21	93,63	117,96	269,34	339,35	-14,00	-17,64	7,02	8,84	1892,70	2384,69
		1672,22	1841,65	240,21	264,55	691,02	761,03	-35,91	-39,55	18,00	19,82	4855,91	5347,91
	пессимальный	625,10	651,78	89,79	93,63	258,31	269,34	-13,42	-14,00	6,73	7,02	1815,22	1892,70
		1841,65	1868,33	264,55	268,38	761,03	772,05	-39,55	-40,12	19,82	20,11	5347,91	5425,39
5	оптимальный	775,24	1578,62	119,47	243,27	327,15	666,17	-17,08	-34,77	9,27	18,88	2680,59	5458,45
	субоптимальный	615,30	775,24	94,82	119,47	259,65	327,15	-13,55	-17,08	7,36	9,27	2127,55	2680,59
		1578,62	1738,56	243,27	267,92	666,17	733,67	-34,77	-38,29	18,88	20,79	5458,45	6011,50
	пессимальный	590,11	615,30	90,94	94,82	249,03	259,65	-13,00	-13,55	7,06	7,36	2040,46	2127,55
		1738,56	1763,75	267,92	271,80	733,67	744,30	-38,29	-38,85	20,79	21,09	6011,50	6098,59
6	оптимальный	539,82	1099,22	125,08	254,71	273,07	556,05	-16,92	-34,45	10,44	21,25	2749,31	5598,38
	субоптимальный	428,44	539,82	99,28	125,08	216,73	273,07	-13,43	-16,92	8,28	10,44	2182,09	2749,31
		1099,22	1210,59	254,71	280,51	556,05	612,39	-34,45	-37,94	21,25	23,40	5598,38	6165,61
	пессимальный	410,91	428,44	95,21	99,28	207,86	216,73	-12,88	-13,43	7,94	8,28	2092,77	2182,09
		1210,59	1228,13	280,51	284,58	612,39	621,26	-37,94	-38,49	23,40	23,74	6165,61	6254,93
7	оптимальный	443,05	902,17	118,46	241,22	281,75	573,71	-15,91	-32,39	10,81	22,01	2852,71	5808,93
	субоптимальный	351,64	443,05	94,02	118,46	223,62	281,75	-12,63	-15,91	8,58	10,81	2264,15	2852,71
		902,17	993,58	241,22	265,65	573,71	631,84	-32,39	-35,67	22,01	24,23	5808,93	6397,49
	пессимальный	337,25	351,64	90,17	94,02	214,46	223,62	-12,11	-12,63	8,23	8,58	2171,47	2264,15
		993,58	1007,97	265,65	269,50	631,84	641,00	-35,67	-36,19	24,23	24,59	6397,49	6490,17

## Продолжение приложения 3

Геом	Диапазон	Высота, м		Экспозиция, град		Осадки, мм/год		Средняя температура января, °С		Средняя температура июля, °С		Первичная биологическая продуктивность, кг С/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
8	оптимальный	60,21	122,61	16,10	32,78	38,29	77,97	-2,16	-4,40	1,47	2,99	387,68	789,43
	субоптимальный	47,79	60,21	12,78	16,10	30,39	38,29	-1,72	-2,16	1,17	1,47	307,70	387,68
		122,61	135,03	32,78	36,10	77,97	85,87	-4,40	-4,85	2,99	3,29	789,43	869,42
	пессимальный	45,83	47,79	12,25	12,78	29,15	30,39	-1,65	-1,72	1,12	1,17	295,10	307,70
		135,03	136,98	36,10	36,63	85,87	87,11	-4,85	-4,92	3,29	3,34	869,42	882,01
9	оптимальный	328,41	668,74	114,87	233,90	260,42	530,29	-17,91	-36,46	10,86	22,11	2526,45	5144,57
	субоптимальный	260,66	328,41	91,17	114,87	206,69	260,42	-14,21	-17,91	8,62	10,86	2005,21	2526,45
		668,74	736,50	233,90	257,60	530,29	584,02	-36,46	-40,16	22,11	24,35	5144,57	5665,82
	пессимальный	249,99	260,66	87,44	91,17	198,23	206,69	-13,63	-14,21	8,27	8,62	1923,13	2005,21
		736,50	747,17	257,60	261,33	584,02	592,48	-40,16	-40,74	24,35	24,70	5665,82	5747,90
10	оптимальный	44,63	90,88	15,61	31,79	35,39	72,07	-2,43	-4,96	1,48	3,00	343,34	699,15
	субоптимальный	35,42	44,63	12,39	15,61	28,09	35,39	-1,93	-2,43	1,17	1,48	272,51	343,34
		90,88	100,09	31,79	35,01	72,07	79,37	-4,96	-5,46	3,00	3,31	699,15	769,98
	пессимальный	33,97	35,42	11,88	12,39	26,94	28,09	-1,85	-1,93	1,12	1,17	261,35	272,51
		100,09	101,54	35,01	35,51	79,37	80,52	-5,46	-5,54	3,31	3,36	769,98	781,14
11	оптимальный	791,13	1610,97	123,11	250,68	308,13	627,44	-21,60	-43,99	8,61	17,53	1879,25	3826,68
	субоптимальный	627,91	791,13	97,71	123,11	244,56	308,13	-17,14	-21,60	6,83	8,61	1491,53	1879,25
		1610,97	1774,19	250,68	276,08	627,44	691,01	-43,99	-48,44	17,53	19,31	3826,68	4214,40
	пессимальный	602,21	627,91	93,71	97,71	234,55	244,56	-16,44	-17,14	6,55	6,83	1430,48	1491,53
		1774,19	1799,90	276,08	280,08	691,01	701,02	-48,44	-49,14	19,31	19,59	4214,40	4275,45

## Продолжение приложения 3

Геом	Диапазон	Высота, м		Экспозиция, град		Осадки, мм/год		Средняя температура января, °С		Средняя температура июля, °С		Первичная биологическая продуктивность, кг С/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
12	оптимальный	668,48	1361,21	123,55	251,59	288,88	588,24	-21,14	-43,04	9,34	19,02	2281,98	4646,77
	субоптимальный	530,56	668,48	98,06	123,55	229,28	288,88	-16,78	-21,14	7,41	9,34	1811,18	2281,98
		1361,21	1499,12	251,59	277,08	588,24	647,84	-43,04	-47,40	19,02	20,94	4646,77	5117,57
	пессимальный	508,84	530,56	94,05	98,06	219,89	229,28	-16,09	-16,78	7,11	7,41	1737,04	1811,18
		1499,12	1520,84	277,08	281,09	647,84	657,22	-47,40	-48,09	20,94	21,25	5117,57	5191,71
13	оптимальный	611,70	1245,60	122,84	250,14	273,88	557,70	-19,30	-39,31	10,14	20,64	2590,67	5275,34
	субоптимальный	485,50	611,70	97,50	122,84	217,37	273,88	-15,32	-19,30	8,05	10,14	2056,18	2590,67
		1245,60	1371,81	250,14	275,48	557,70	614,20	-39,31	-43,29	20,64	22,73	5275,34	5809,84
	пессимальный	465,63	485,50	93,50	97,50	208,48	217,37	-14,69	-15,32	7,72	8,05	1972,01	2056,18
		1371,81	1391,68	275,48	279,47	614,20	623,10	-43,29	-43,92	22,73	23,06	5809,84	5894,00
14	оптимальный	655,16	1334,09	120,32	245,00	279,06	568,24	-17,69	-36,01	10,37	21,12	2516,18	5123,65
	субоптимальный	519,99	655,16	95,50	120,32	221,49	279,06	-14,04	-17,69	8,23	10,37	1997,05	2516,18
		1334,09	1469,26	245,00	269,83	568,24	625,82	-36,01	-39,66	21,12	23,26	5123,65	5642,78
	пессимальный	498,71	519,99	91,59	95,50	212,42	221,49	-13,46	-14,04	7,89	8,23	1915,30	1997,05
		1469,26	1490,55	269,83	273,74	625,82	634,89	-39,66	-40,24	23,26	23,59	5642,78	5724,52
15	оптимальный	548,61	1117,12	128,89	262,45	257,00	523,33	-18,49	-37,64	10,41	21,19	2466,76	5023,03
	субоптимальный	435,42	548,61	102,29	128,89	203,98	257,00	-14,67	-18,49	8,26	10,41	1957,83	2466,76
		1117,12	1230,31	262,45	289,04	523,33	576,35	-37,64	-41,46	21,19	23,34	5023,03	5531,96
	пессимальный	417,60	435,42	98,11	102,29	195,63	203,98	-14,07	-14,67	7,92	8,26	1877,69	1957,83
		1230,31	1248,13	289,04	293,23	576,35	584,70	-41,46	-42,06	23,34	23,68	5531,96	5612,10

## Продолжение приложения 3

Геом	Диапазон	Высота, м		Экспозиция, град		Осадки, мм/год		Средняя температура января, °С		Средняя температура июля, °С		Первичная биологическая продуктивность, кг С/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
16	оптимальный	228,64	465,58	110,99	226,00	230,52	469,39	-21,30	-43,36	10,56	21,50	1608,75	3275,87
	субоптимальный	181,47	228,64	88,09	110,99	182,96	230,52	-16,90	-21,30	8,38	10,56	1276,84	1608,75
		465,58	512,76	226,00	248,90	469,39	516,95	-43,36	-47,76	21,50	23,68	3275,87	3607,77
	пессимальный	174,04	181,47	84,48	88,09	175,47	182,96	-16,21	-16,90	8,04	8,38	1224,57	1276,84
		512,76	520,18	248,90	252,50	516,95	524,44	-47,76	-48,45	23,68	24,02	3607,77	3660,04
17	оптимальный	262,75	535,04	116,85	237,94	244,05	496,95	-20,24	-41,22	10,74	21,87	1954,64	3980,21
	субоптимальный	208,54	262,75	92,74	116,85	193,70	244,05	-16,06	-20,24	8,52	10,74	1551,37	1954,64
		535,04	589,25	237,94	262,05	496,95	547,30	-41,22	-45,39	21,87	24,08	3980,21	4383,48
	пессимальный	200,01	208,54	88,95	92,74	185,77	193,70	-15,41	-16,06	8,17	8,52	1487,87	1551,37
		589,25	597,78	262,05	265,85	547,30	555,23	-45,39	-46,05	24,08	24,43	4383,48	4446,98
18	оптимальный	292,87	596,37	120,34	245,05	254,23	517,68	-16,55	-33,71	11,16	22,72	2684,72	5466,85
	субоптимальный	232,45	292,87	95,52	120,34	201,78	254,23	-13,14	-16,55	8,86	11,16	2130,82	2684,72
		596,37	656,79	245,05	269,88	517,68	570,13	-33,71	-37,12	22,72	25,02	5466,85	6020,75
	пессимальный	222,93	232,45	91,61	95,52	193,52	201,78	-12,60	-13,14	8,49	8,86	2043,60	2130,82
		656,79	666,31	269,88	273,79	570,13	578,39	-37,12	-37,66	25,02	25,38	6020,75	6107,97
20	оптимальный	366,34	745,97	116,64	237,50	260,61	530,68	-15,78	-32,12	11,34	23,09	2801,50	5704,66
	субоптимальный	290,76	366,34	92,57	116,64	206,84	260,61	-12,52	-15,78	9,00	11,34	2223,51	2801,50
		745,97	821,55	237,50	261,57	530,68	584,44	-32,12	-35,38	23,09	25,43	5704,66	6282,65
	пессимальный	278,85	290,76	88,78	92,57	198,38	206,84	-12,01	-12,52	8,63	9,00	2132,50	2223,51
		821,55	833,45	261,57	265,36	584,44	592,91	-35,38	-35,89	25,43	25,80	6282,65	6373,67

## Продолжение приложения 3

Геом	Диапазон	Высота, м		Экспозиция, град		Осадки, мм/год		Средняя температура января, °С		Средняя температура июля, °С		Первичная биологическая продуктивность, кг С/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
21	оптимальный	555,47	1131,09	120,06	244,48	250,27	509,62	-17,89	-36,43	11,44	23,30	2325,20	4734,77
	субоптимальный	440,86	555,47	95,29	120,06	198,63	250,27	-14,20	-17,89	9,08	11,44	1845,48	2325,20
		1131,09	1245,69	244,48	269,25	509,62	561,25	-36,43	-40,12	23,30	25,67	4734,77	5214,50
	пессимальный	422,82	440,86	91,39	95,29	190,50	198,63	-13,62	-14,20	8,71	9,08	1769,94	1845,48
		1245,69	1263,73	269,25	273,15	561,25	569,38	-40,12	-40,71	25,67	26,04	5214,50	5290,04
22	оптимальный	504,84	1028,00	114,77	233,71	271,96	553,78	-18,77	-38,22	11,39	23,19	2451,34	4991,63
	субоптимальный	400,68	504,84	91,09	114,77	215,85	271,96	-14,90	-18,77	9,04	11,39	1945,59	2451,34
		1028,00	1132,16	233,71	257,39	553,78	609,89	-38,22	-42,09	23,19	25,54	4991,63	5497,38
	пессимальный	384,28	400,68	87,36	91,09	207,01	215,85	-14,29	-14,90	8,67	9,04	1865,95	1945,59
		1132,16	1148,56	257,39	261,11	609,89	618,72	-42,09	-42,70	25,54	25,91	5497,38	5577,02
23	оптимальный	373,13	759,81	155,46	316,57	281,44	573,09	-19,54	-39,79	11,27	22,95	2702,05	5502,14
	субоптимальный	296,15	373,13	123,39	155,46	223,38	281,44	-15,51	-19,54	8,95	11,27	2144,58	2702,05
		759,81	836,79	316,57	348,64	573,09	631,16	-39,79	-43,83	22,95	25,28	5502,14	6059,62
	пессимальный	284,03	296,15	118,34	123,39	214,23	223,38	-14,88	-15,51	8,58	8,95	2056,79	2144,58
		836,79	848,91	348,64	353,70	631,16	640,30	-43,83	-44,46	25,28	25,64	6059,62	6147,40
24	оптимальный	460,03	936,75	123,62	251,73	276,93	563,91	-20,03	-40,79	10,65	21,69	2572,64	5238,63
	субоптимальный	365,12	460,03	98,12	123,62	219,80	276,93	-15,90	-20,03	8,45	10,65	2041,87	2572,64
		936,75	1031,66	251,73	277,24	563,91	621,05	-40,79	-44,93	21,69	23,89	5238,63	5769,40
	пессимальный	350,17	365,12	94,10	98,12	210,80	219,80	-15,25	-15,90	8,11	8,45	1958,29	2041,87
		1031,66	1046,61	277,24	281,25	621,05	630,04	-44,93	-45,58	23,89	24,23	5769,40	5852,98



## Продолжение приложения 3

Геом	Диапазон	Высота, м		Экспозиция, град		Осадки, мм/год		Средняя температура января, °С		Средняя температура июля, °С		Первичная биологическая продуктивность, кг С/м <sup>2</sup> · год <sup>-1</sup>	
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
25	оптимальный	482,22	981,93	124,08	252,67	244,05	496,95	-16,10	-32,79	11,69	23,81	1930,92	3931,89
	субоптимальный	382,73	482,22	98,48	124,08	193,70	244,05	-12,78	-16,10	9,28	11,69	1532,54	1930,92
		981,93	1081,42	252,67	278,27	496,95	547,30	-32,79	-36,11	23,81	26,22	3931,89	4330,27
	пессимальный	367,06	382,73	94,45	98,48	185,77	193,70	-12,26	-12,78	8,90	9,28	1469,81	1532,54
		1081,42	1097,08	278,27	282,30	547,30	555,23	-36,11	-36,64	26,22	26,60	4330,27	4393,00
26	оптимальный	436,92	889,70	117,39	239,03	233,93	476,34	-17,13	-34,88	12,25	24,94	1889,87	3848,31
	субоптимальный	346,78	436,92	93,17	117,39	185,66	233,93	-13,59	-17,13	9,72	12,25	1499,96	1889,87
		889,70	979,85	239,03	263,25	476,34	524,60	-34,88	-38,41	24,94	27,47	3848,31	4238,21
	пессимальный	332,59	346,78	89,36	93,17	178,06	185,66	-13,04	-13,59	9,32	9,72	1438,56	1499,96
		979,85	994,04	263,25	267,07	524,60	532,20	-38,41	-38,97	27,47	27,87	4238,21	4299,61
27	оптимальный	503,98	1026,24	114,45	233,05	244,61	498,10	-17,04	-34,70	12,08	24,60	1885,21	3838,83
	субоптимальный	400,00	503,98	90,84	114,45	194,15	244,61	-13,52	-17,04	9,59	12,08	1496,26	1885,21
		1026,24	1130,22	233,05	256,67	498,10	548,57	-34,70	-38,21	24,60	27,09	3838,83	4227,77
	пессимальный	383,63	400,00	87,12	90,84	186,20	194,15	-12,97	-13,52	9,20	9,59	1435,02	1496,26
		1130,22	1146,59	256,67	260,39	548,57	556,51	-38,21	-38,77	27,09	27,48	4227,77	4289,02