

Выделение типов лесорастительных условий при искусственном лесовозобновлении

Г. С. ВАРАКСИН, В. П. ЧЕРКАШИН, И. А. МИХАЙЛОВА

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок*

АННОТАЦИЯ

В статье дан анализ современного состояния лесокультурного фонда подзоны южной тайги Красноярского края и предложен алгоритм выделения типов лесорастительных условий на площадях лесокультурного фонда с использованием геоинформационной системы для более обоснованного выбора видов древесной растительности при искусственном лесовозобновлении.

В Красноярском крае площадь лесокультурного фонда к настоящему времени составляет свыше 1 млн га. Огромные площади бывших лесных участков с относительно плодородными почвами не продуцируют. Поэтому оперативное получение информации об этих площадях, их транспортной и экономической доступности возможно только при использовании данных дистанционного зондирования и методов непрерывного лесоустройства на основе геоинформационной системы (ГИС) [1].

Сегодня создаются в широких производственных масштабах ГИС лесхозов, которые содержат на момент лесоустройства обширную атрибутивную и картографическую информацию о структуре, продуктивности, экологии территории, в том числе и о лесокультурном фонде. К сожалению, эти системы копируют в цифровой форме традиционные подходы и не позволяют в полной мере использовать новые аналитические возможности ГИС. В частности, пока медленно внедряются и практически не используются методы анализа цифровых моделей рельефа и обработки космических изображений, а также основанные на них методы выделения лесорастительных условий. Один из современ-

ных методов выделения потенциальных типов условий местопроизрастания на основе морфометрического анализа рельефа в геоинформационной системе для целей лесоустройства предложен В. В. Сысоевым и П. А. Шарым [2].

В связи с этим основная цель настоящей работы – разработать алгоритм выделения типов лесорастительных условий с использованием ГИС для решения задач по искусственному лесовозобновлению, в частности определения древесных видов, рекомендуемых для посадки на площадях лесокультурного фонда лесхоза.

В ИЛ СО РАН развивается многоуровневая интегрированная ГИС “Леса Средней Сибири”, предназначенная для решения задач мониторинга лесов и экосистемного управления лесопользованием в Красноярском крае и объединяющая разнокачественную информацию о лесном покрове Средней Сибири на локальном (лесхоз), субрегиональном (Нижнее Приангарье) и региональном (Красноярский край) уровнях [3, 4].

Локальная ГИС лесхоза интегрирует информацию о современном состоянии лесных экосистем, степени их нарушенности рубками, пожарами, техногенными эмиссиями и

другими факторами, о размерах потерь ими продуктивности, вероятности возникновения и развития очагов повреждения леса, пространственных и энергетических параметрах возникающих лесных пожаров, методах их локализации и тушения в целях выбора наиболее оптимальных управленческих решений, организации экосистемного лесопользования и обеспечения устойчивого развития местных лесов [5, 6].

Ядро ГИС локального уровня составляет пространственная база данных, которая сформирована в процессе решения перечисленных задач по экосистемному управлению лесами Большемуртинского лесхоза. В связи с большим разнообразием лесорастительных условий лесхоз репрезентативен для значительных по площади лесорастительных зон Сибири. В локальной ГИС организовано несколько подсистем, выполняющих функции поддержки принятия решений, ориентированных на основные виды хозяйственной деятельности лесохозяйственного предприятия. Одна из подсистем специализирована на решении таких задач, как оценка лесокультурного фонда (категории, географическое размещение и доступность) [7], анализ состояния (приживаемость, сохранность, класс качества и т. д.) и разработка критериев выбора видов древесной растительности при искусственном лесовосстановлении на основе моделей взаимосвязи их продуктивности с типами лесорастительных условий.

Компьютерные векторные слои образов топографических и тематических карт, сформированные по бумажным оригиналам, представлены следующим набором данных:

1. Реки, дороги, населенные пункты М 1 : 25 000.
2. Изолинии рельефа М 1 : 50 000.
3. Лесотаксационные выделы М 1 : 25 000.
4. Таксоны физико-географического районирования (зоны, подзоны, ландшафты, местности, урочища М 1 : 200 000).
5. Карты четвертичных отложений, геоботаническая и геоморфологическая.

На основе этой базовой информации создаются производные пространственные и атрибутивные данные следующих видов: почвенная карта М 1 : 50 000 и карты лесорастительных условий, динамики породного состава и возрастного строения, нарушенности лесов М 1 : 50 000; карты лесокультурного фонда и

состояния лесных культур; справочные карты и подбазы данных по основным таксационным характеристикам (запас, преобладающая и главная породы, бонитет, полнота, средний диаметр и высота древостоев, возраст и т. д.).

В базу данных занесены также отсканированные рабочие лесоустроительные спектрально-аэрофотоснимки М 1 : 25 000 для проверки и дополнения данных лесоустройства более детальной информацией.

На основе анализа материалов лесоустройства и проведенных собственных исследований разработана классификация лесокультурного фонда (ЛКФ) для таежной зоны Красноярского края [8]. Для Большемуртинского лесхоза проведена инвентаризация ЛКФ и выделены следующие его категории:

1. Свежие вырубki – 1–2 года.
2. Вырубki 3–10 лет, на которых невозможно возобновление леса естественным путем хозяйственно ценными породами.
3. Пустыри.
4. Прогалины.
5. Участки леса, погибшие под воздействием лесных пожаров (гари) и сибирского шелкопряда (шелкопряда), где не ожидается удовлетворительного естественного возобновления хозяйственно ценных пород.
6. Площади, требующие реконструкции:
 - 6.1. Малоценные лиственные молодняки высотой до 6 м.
 - 6.2. Низкополнотные насаждения.
 - 6.3. Погибшие лесные культуры.
7. Вырубki, пройденные управляемым и неуправляемым огнем.

На основе материалов лесоустройства с учетом текущих изменений в лесном фонде, фиксируемых ежегодно в лесхозе как наземными обследованиями, так и с привлечением результатов дешифрирования аэроснимков крупных и средних масштабов, а также с помощью методов анализа результатов доступной фотографической и сканерной космической съемки, формируется пространственная база данных о ЛКФ, которая включает: 1) растровую топооснову, полученную путем сканирования топографических карт масштаба 1 : 100 000; 2) векторную карту лесов, полученную оцифровкой лесоустроительных планшетов М 1 : 25 000; 3) изображения спутника SPOT в спектраль-

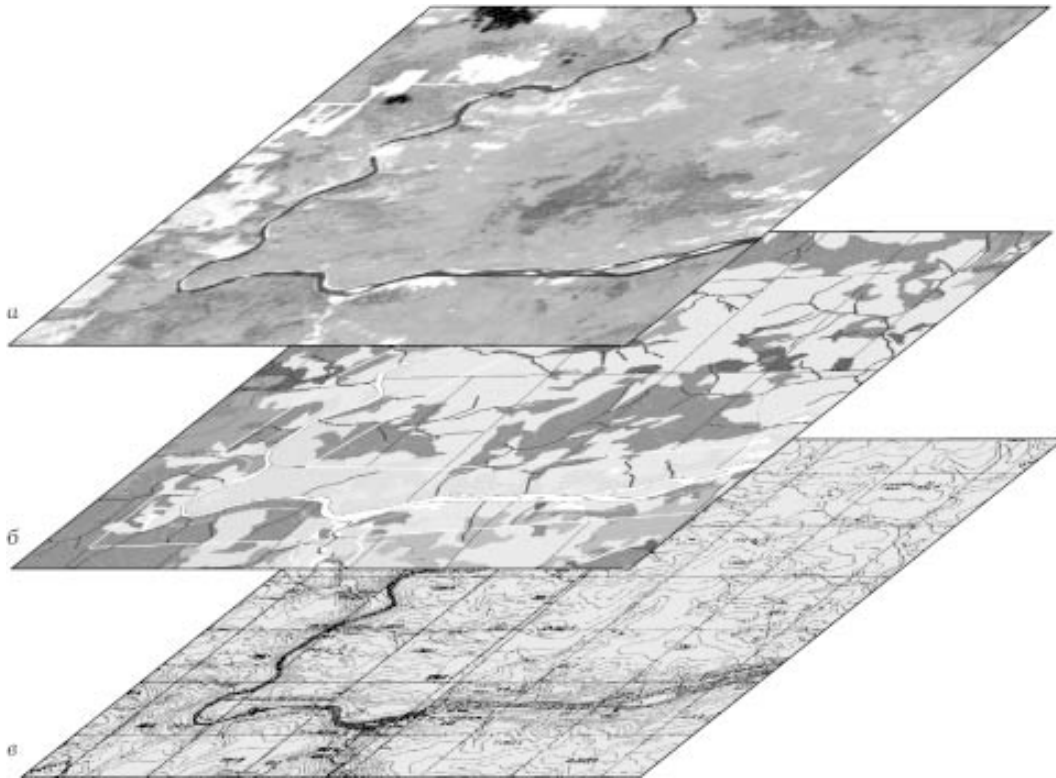


Рис. 1. Основные пространственно-совмещенные слои экспериментальной ГИС: а – фрагмент цифрового изображения SPOT; б – фрагмент карты лесных насаждений тестового участка; в – фрагмент топографической основы масштаба 1 : 100 000.

ных каналах XS2 (0,61–0,69 мкм) и SX3 (0,80–0,91 мкм) (рис. 1).

С использованием этой информации выполнено пространственное совмещение разномасштабных слоев и оценена эффективность автоматического дешифрирования для распознавания некоторых категорий площадей лесокультурного фонда. На рис. 2 изображена гистограмма распределения яркости в двух

спектральных зонах со спутника SPOT. На ней прямоугольниками выделены области, соответствующие разным категориям лесокультурного фонда и другим объектам. Видно, что эти объекты могут быть уверенно дешифрированы, поскольку области не пересекаются в пространстве распределения значений яркости изображений (вырубки, гари, лесные культуры, прогалины, шелко-

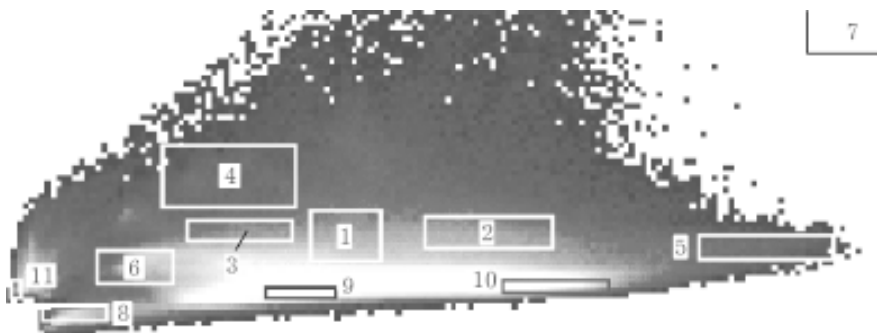


Рис. 2. Расположение дешифрируемых классов на двумерной гистограмме яркости пикселей изображения спутника SPOT, рассчитанной для спектральных каналов XS2 (0,61–0,69 мкм) и SX3 (0,80–0,91 мкм).

1 – вырубки; 2 – гари; 3 – несомкнутые культуры; 4 – лесные культуры; 5 – прогалины; 6 – шелкопрядники; 7 – облака; 8 – тени; 9 – пихта; 10 – береза и осина; 11 – водная поверхность.

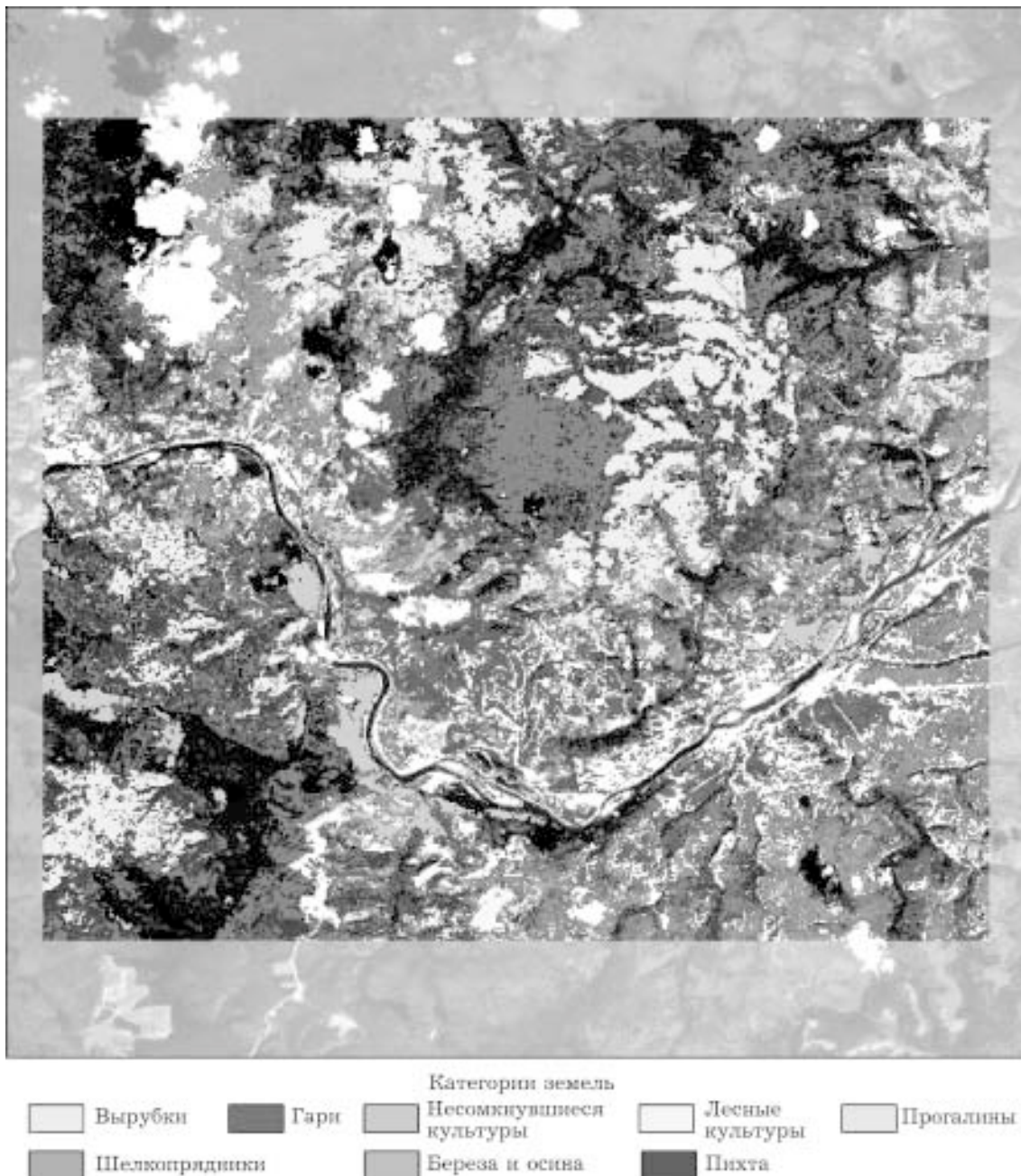


Рис. 3. Результат автоматизированной тематической классификации изображения спутника SPOT.

рядники, облака, тени облаков, пихта, лиственные насаждения, требующие реконструкции, открытая вода).

На рис. 3 показано распределение основных категорий лесокультурного фонда на синтезированном изображении. Сравнение размещения на снимке этих категорий с планами лесонасаждений показало хорошее согласование их границ. Коэффициенты оценки точности совмещения областей на космичес-

ком изображении и карте лесов, построенной по материалам лесоустройства, имеют следующие значения: для вырубок – 0,655; для гарей – 0,837; для несомкнутых культур – 0,888; для сомкнутых лесных культур – 0,976; для прогалин – 0,914; для шелкопрядников – 0,822; для пихтовых древостоев – 0,655; для березы и осины – 0,574.

Интегральные количественные характеристики состояния ЛКФ целесообразно форми-

ровать по лесничествам с оценкой площадей, общей захламенности, количества пней и естественного возобновления на 1 га (табл. 1). В целом по лесхозу наибольшая доля площади в лесокультурном фонде приходится на вырубки – 51,3 %, из них 84,2 % – вырубки 3–10-летнего возраста, 11,5 % – более 10 лет и 4,3 % – 1–2-летнего возраста. Затем идут прогалины – 25,3 %, хотя в Таловском и Верхне-Казанском лесничествах на втором месте – гари, после этого – старые шелкопрядники (10,3 %), площадь которых больше всего в Мостовском и Предивинском лесничествах. Гари и площади, требующие реконструкции, почти одинаковы (4,8 и 5,0 %). Доля погибших лесных культур составляет 3,3, пустырей – 0,1 %. Таким образом, в таежной зоне Большемуртинского лесхоза наибольшую часть площади занимают вырубки и гари.

Вырубки по захламенности делятся на два типа: менее и более 50 м³/га. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что свыше 80 % вырубок имеют захламенность более 50 м³/га. Это не вывезенные с лесосеки хлысты, поваленные и брошенные деревья и порубочные остатки. Очистка лесосек, как это предусмотрено в правилах рубок главного пользования, не производится. Кроме того, вырубки таежной зоны характеризуются большим числом пней – свыше 600 шт./га. Наши исследования показывают, что 90 % пней здесь имеют диаметр более 20 см.

Построение электронных карт целесообразно выполнять по лесничествам. Они позволяют иметь оперативную информацию о пространственном размещении лесокультурного фонда (например, рис. 4), что важно для оценки транспортной и экономической доступности, а также для определения последовательности его эффективного освоения.

Одной из основных задач при искусственном лесовосстановлении является оценка пригодности лесорастительных условий для выращивания искусственных фитоценозов по целевому назначению, породному составу, производительности и продуктивности. В связи с этим осуществляется анализ пространственной информации о распределении насаждений по преобладающей породе, основным

Т а б л и ц а 1
Площади основных категорий лесокультурного фонда Большемуртинского лесхоза, га

Лесничество	Пустыри	Прогалины	Гари	Шелко- прядники	Вырубки, лет			Малоценные лиственные насаждения	Низко- полнотные насаждения всех пород	Погибшие лесные культуры
					1–2	3–10	>10			
					Таловское	–	1670			
Верхне-Казанское	–	4029	5830	2370	23 925	1040	1030	2300	–	
Красноключевское	–	23 540	660	–	5560	90	–	–	2390	
Мостовское	–	12 040	–	8560	–	–	–	–	–	
Большемуртинское	–	1237	331	–	3221	270	–	–	18	
Предивинское	–	1360	340	6110	8490	1590	2260	640	–	
Юкеевское	190	4920	–	2620	7678	2730	180	–	2810	
Итого	190	48 796	9251	19 660	83 350	11 350	4630	5116	6367	

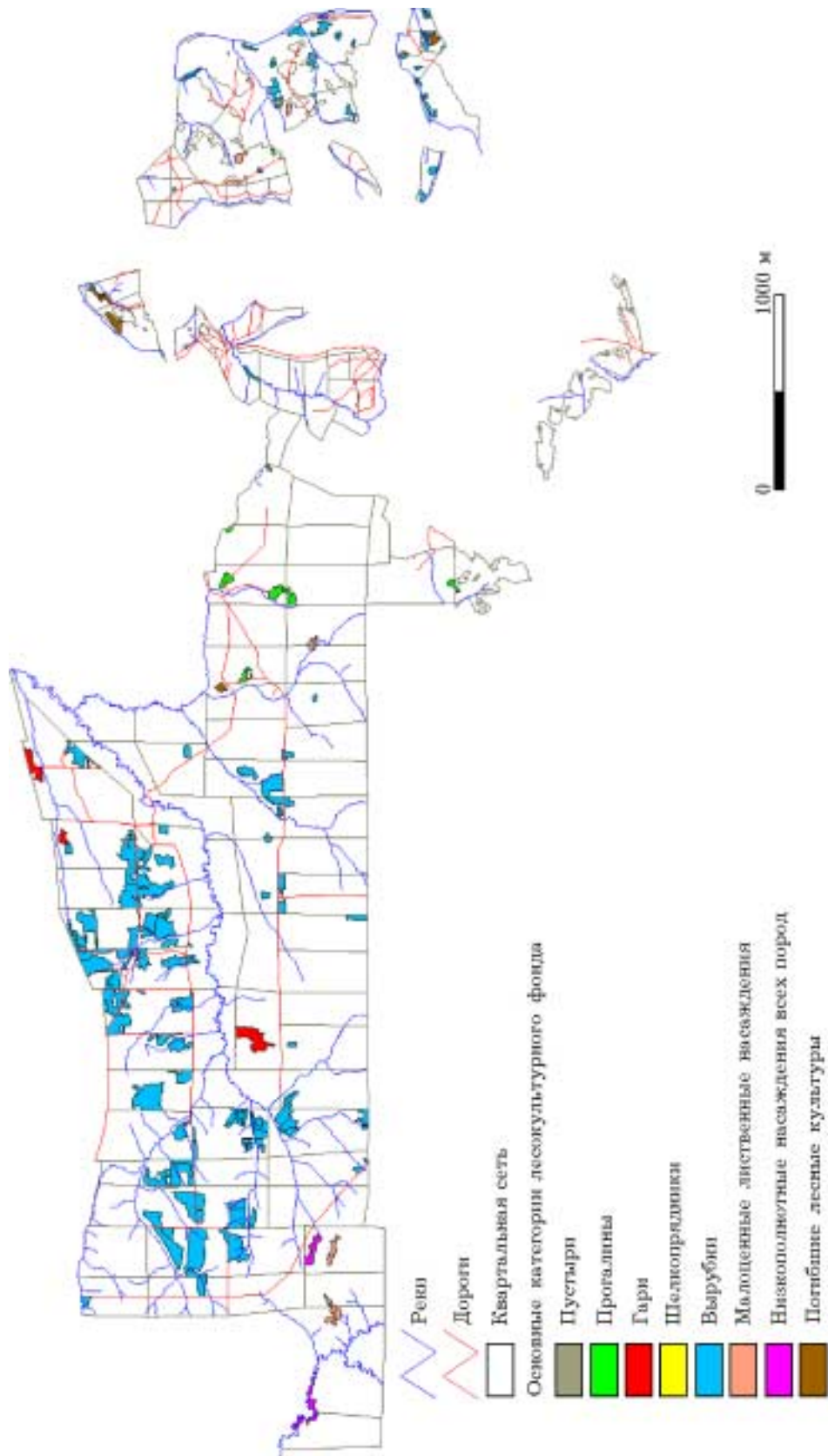


Рис. 4. Карта категорий лесохозяйственного фонда Таловского лесничества Большемуртинского лесхоза.

Значения факторов и целевых характеристик насаждений

Код и значение фактора	Тип почвы	01 – дерново-лесная; 02 – серая лесная; 03 – темно-серая лесная; 04 – лугово-черноземная; 05 – дерново-слабоподзолистая; 06 – дерново-подзолистая; 07 – дерново-сильноподзолистая; 08 – подзолистая; 09 – перегнойно-подзолистая; 10 – таежная глееподзолистая; 11 – дерново-перегнойная; 12 – перегнойно-торфяно-глеевая; 13 – торфяно-перегнойная; 14 – торфянисто-глеевая; 16 – торфяно-перегнойно-глеевая; 17 – торфяно-болотная; 18 – горно-таежно-щепнистая
	Степень влажности почвы	01 – очень сухая; 02 – сухая; 03 – свежая; 04 – влажная; 05 – сырая; 06 – мокрая
	Механический состав почвы	01 – песчаная; 02 – супесчаная; 03 – легкосуглинистая; 04 – среднесуглинистая; 05 – сильносуглинистая; 06 – глинистая
	Экспозиция склона	01 – северная; 02 – северо-восточная; 03 – восточная; 04 – юго-восточная; 05 – южная; 06 – юго-западная; 07 – западная; 08 – северо-западная
	Крутизна склона, град.	00 – 0; 01 – 0-1; 02 – 1-2; 05 – 2-5; 10 – 5-10
	Группа типов леса	01 – зеленомошная; 02 – разнотравная; 03 – крупнотравная; 04 – травяно-болотная
Целевые характеристики	Класс бонитета	01 – I бонитет; 02 – II бонитет; 03 – III бонитет; 04 – IV бонитет; 05 – V и Va бонитет
	Преобладающая порода	01 – сосна; 02 – ель; 03 – пихта; 04 – лиственница сибирская; 05 – кедр; 06 – береза; 07 – осина

группам типов леса, классам бонитета, влажности и механическому составу почв, крутизне и экспозиции склонов (полученных по цифровой модели местности). Для этих целей в картографическую базу данных в формате Arc/Info введен векторный слой изолиний рельефа с топографических карт М 1 : 50 000, который совмещен с планом лесонасаждений и почвенной картой. После преобразования в растровую форму по цифровой модели рельефа определены экспозиция и крутизна склонов, а по почвенной карте – тип, влажность и механический состав почв, которые использованы как диагностические признаки при цифровой классификации условий произрастания насаждений. К этим признакам добавлено описание групп типов леса, которые агрегируют все многообразие типов леса на территории лесхоза.

Используя эти сопряженные цифровые картографические слои для каждого лесотаксационного выдела, определили значения основных характеристик, возможные значения которых приведены в табл. 2.

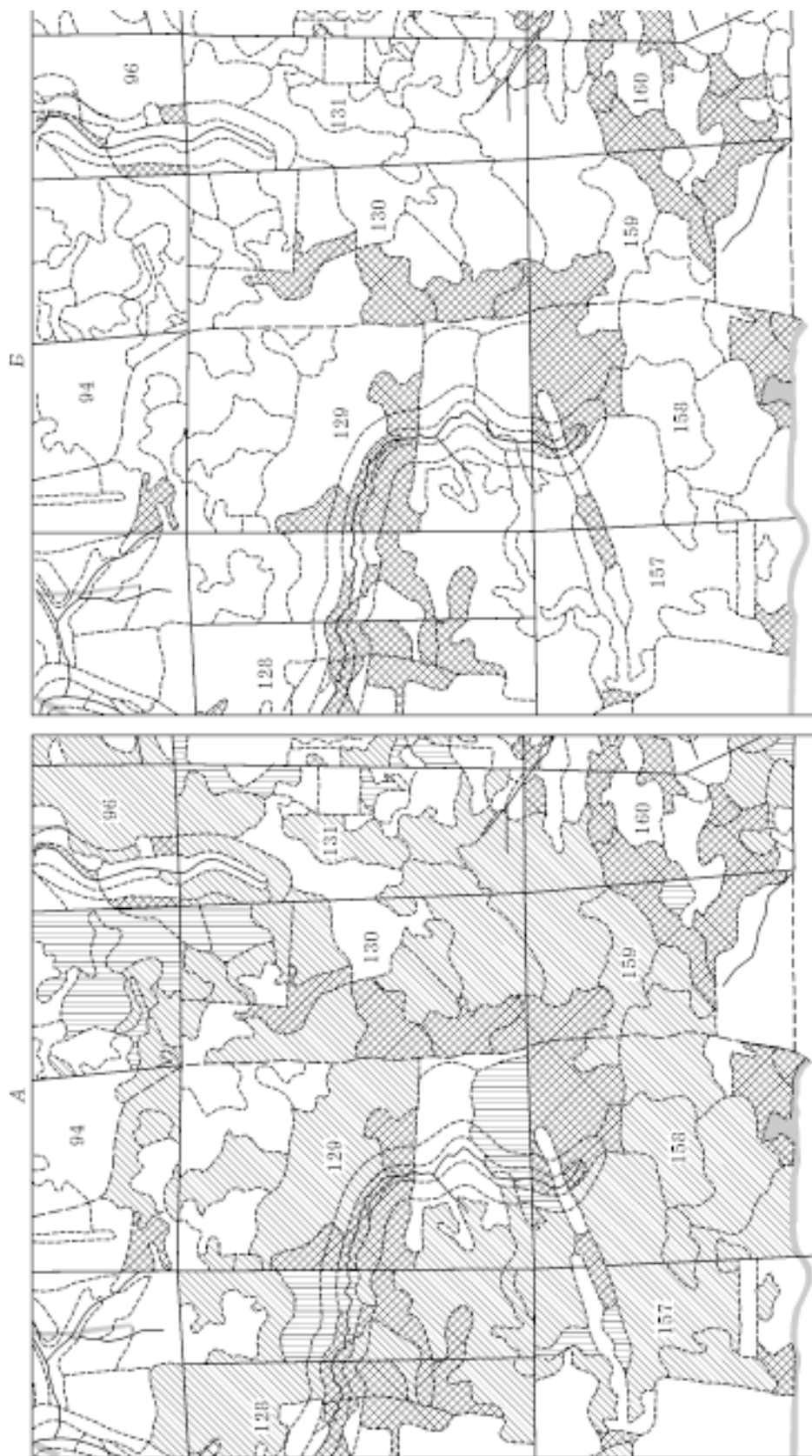
Операции с пространственными и атрибутивными базами данных можно представить следующим алгоритмом:

1. Для таксационного выдела по данным лесоустройства определяются преобладающая порода, класс бонитета, группа типов леса.

2. По почвенной карте (или материалам лесоустройства) в выделах определяются тип, влажность и механический состав почв.

3. По цифровой модели рельефа для каждого выдела определяются средняя крутизна и экспозиция склона.

4. Произошедшие на территории изменения корректируются по космическим сним-



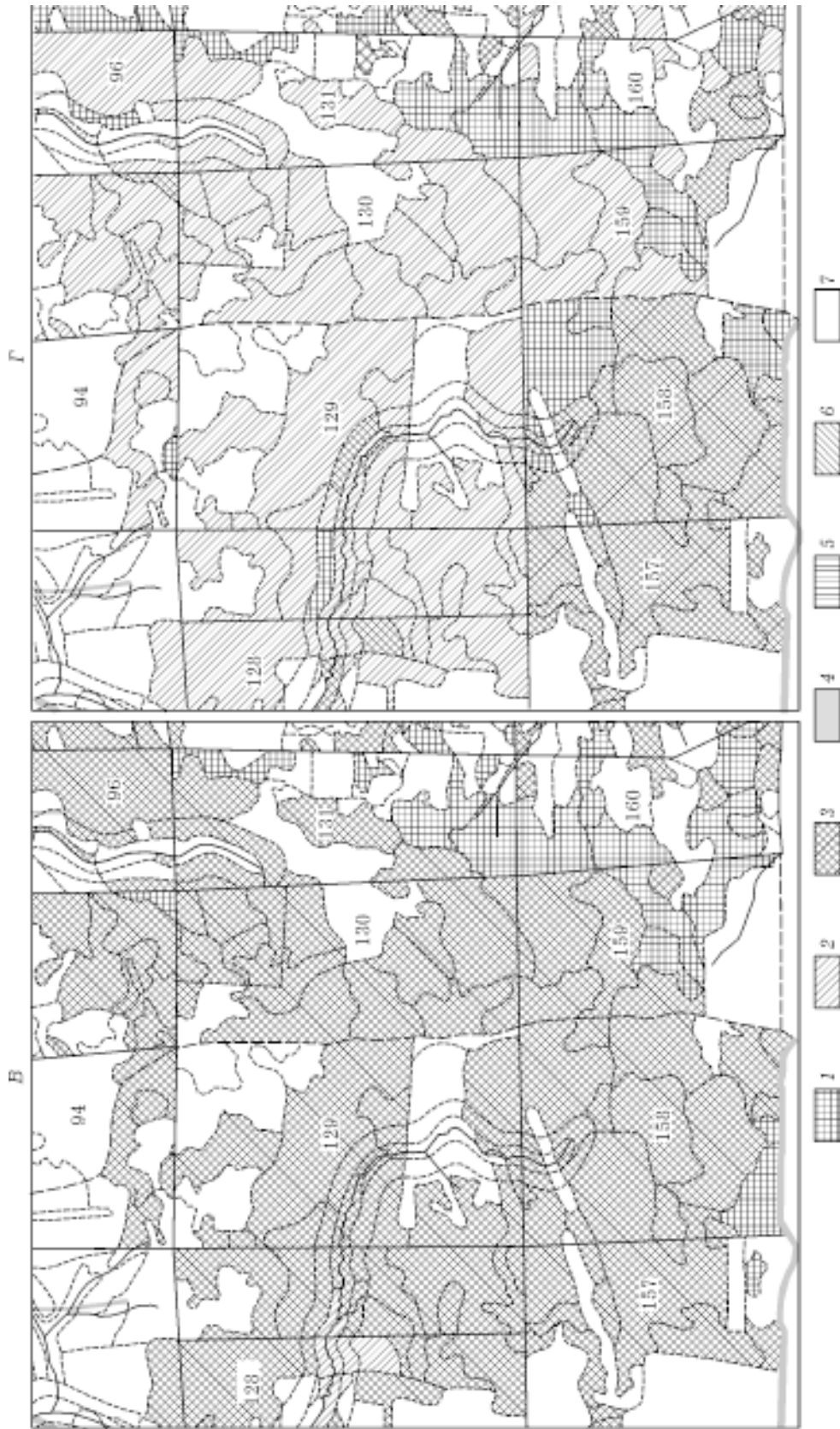


Рис. 5. Фрагменты карт произрастающих и прогнозируемых главных пород части Верхне-Казанского лесничества Большемуртагинского лесхоза:
 А – преобладающие породы; Б – тестовые участки для моделирования; В – прогнозируемые главные породы по модели Г; Г – прогнозируемые главные породы по модели П. 1 – сосна; 2 – ель; 3 – пихта; 4 – кедр; 5 – береза; 6 – осина; 7 – другие лесные земли.

кам высокого разрешения, новые выделы и участки лесокультурного фонда добавляются в картографическую и атрибутивную базы данных.

5. Формируется специализированная атрибутивная база данных. Основные атрибуты: идентификаторы выделов, группы типов леса, преобладающая порода, класс бонитета, влажность и механический состав почв, крутизна и экспозиция склонов.

6. Степень соответствия условий произрастания и продуктивности преобладающих пород устанавливается только для древостоев 60–120 лет. Для решения этой задачи база данных импортируется в пакет обработки статистической информации.

7. Для выполнения статистического анализа формируются новые поля в базе данных – составные номера классов: преобладающая порода, класс бонитета.

8. На обучающей выборке по выделам древостоев коренных пород (*Pinus sylvestris* L., *Pinus sibirica* Du Tour, *Picea obovata* Ledeb. и *Abies sibirica* Ledeb.) возраста 60–120 лет оцениваются разделяющие свойства признаков (группа типов леса, влажность и механический состав почв, экспозиция и крутизна склонов) для идентификации пород и классов бонитетов. Выполняется линейный дискриминантный анализ данных.

9. Определяются информационные свойства и оптимальный набор признаков для идентификации пород и классов бонитета, размерность пространства дискриминантных признаков, оценивается возможность графического анализа структуры данных.

10. Тестовые данные (древостои коренных пород 60–120-летнего возраста) и данные для прогноза (древостои с производными преобладающими породами и площади лесокультурного фонда) классифицируются по двум моделям:

1) наиболее вероятные классы преобладающих пород и производительности древостоев;

2) классы, определяемые как наиболее вероятные (значимые) среди альтернативных моделей разделяющих функций.

11. Прогнозные классифицированные значения преобладающей породы и класса бонитета составляют дополнительные поля базы данных лесокультурного фонда, по ко-

торым строятся соответствующие прогнозные карты.

На рис. 5, А–Г приведены карты произрастающих и прогнозируемых главных пород для одной из частей Верхне-Казанского лесничества Большемуртинского лесхоза. Анализ этих карт показывает следующее:

1. Преобладающей породой по запасу и составу в лесхозе является пихта сибирская. Наибольший класс бонитета (II) имеют сосновые насаждения в возрасте 60–120 лет. Пихта сибирская, ель сибирская и кедр сибирский имеют в этом возрасте III–IV класс бонитета.

2. Лесорастительные условия характеризуются относительно богатыми почвами с преобладанием: условий влажности – от свежих до влажных, механического состава – от средне- до тяжелосуглинистых.

3. Основными являются две группы лесорастительных условий: а) плоские и пологонаклонные холмистые равнины и покатые склоны с уклоном 1–5° с временно переувлажняемыми почвами; б) склоны разных экспозиций с уклоном более 5° и возвышенные выпуклые равнины с хорошей водопроницаемостью почв, где подстилающий горизонт слагается со значительной долей участия щебнистых пород или галечника, характеризующихся дренированными почвами.

4. По совокупности рассматриваемых признаков (лесорастительные условия и анализ состояния производственных и опытных культур) для I группы лесорастительных условий рекомендуются такие виды древесной растительности, как кедр сибирский и ель сибирская, а для II группы – сосна обыкновенная.

Таким образом, предложен и апробирован алгоритм выделения типов лесорастительных условий для более обоснованного назначения видов древесной растительности при искусственном лесовозобновлении.

В дальнейшем предполагается выполнить более детальный анализ условий местопроизрастания насаждений с применением морфометрической оценки кривизны рельефа. Современные геоинформационные технологии позволяют выявить и оконтурить микроформы рельефа, имеющие существенное значение для лесорастительных условий. Эти микроформы определяют структуру и

производительность растительного покрова. В ГИС имеется возможность формализовать рельеф по отношению к поверхностным, внутрипочвенным и грунтовым стоковым водам, рассчитать водоразделы, линии тока, зоны выхода грунтовых вод, ареалы подтопления и затопления в пределах водосборных площадей, удельную площадь водосбора и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Вараксин, В. П. Черкашин, М. А. Корец, Лесная таксация и лесоустройство: Межвуз. сб. науч. трудов, Красноярск, 2000, 255–264.
2. В. В. Сысоев, П. А. Шарый, *Лесоведение*, 2000, 5, 10–19.
3. Ф. И. Плешиков, В. П. Черкашин, *Сиб. экол. журн.*, 1998, 5: 1, 9–18.
4. В. П. Черкашин, С. А. Черноусов, М. А. Корец и др., Материалы 2-го Всерос. совещ. “Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве”, 18–19 ноября 1998 г., М., ЦЭПЛ РАН, 1998, 99–101.
5. В. П. Черкашин, Ф. И. Плешиков, В. А. Рыжкова и др., Сб. материалов краевой науч.-практ. конф. «Новые технологии для управления и развития региона» (ред. Н.Н. Довженко), Красноярск, 2000, 134–146.
6. Ф. И. Плешиков, В. П. Черкашин, Там же, 188–200.
7. G. S. Varaksin, V. P. Cherkashin, M. A. Koretz, S. V. Polyakov, *Assessment Methods of Forest Ecosystem Status and Sustainability*, August, 1999, Krasnoyarsk, 176.
8. Г. С. Вараксин, Лесной комплекс Сибири, Красноярск, 1990, 96–99.

Detachment of Types of Forest-Growing Conditions in Artificial Reforestation

G. S. VARAKSIN, V. P. CHERKASHIN, I. A. MIKHAILOVA

Analysis of the modern state of cultivated forest reserves of the southern taiga subzone in the Krasnoyarsk region is given, and an algorithm of detachment of forest-growing types in areas of cultivated forests is proposed using a geoinformation system for a more substantiated choice of forest vegetation species in artificial reforestation.