А. Н. КИСЕЛЕВ

МЕТОДИКА КРУПНОМАСШТАБНОГО ПРОГНОЗНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

(НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СРЕДНЕГО СИХОТЭ-АЛИНЯ)

Планирование рационального использования ресурсов и природоохранных мероприятий требует научно разработанных представлений о географических системах будущего, их возможных квазиравновесных структурах и различных переходных состояниях, т. е. представлений, объединяемых понятием географического прогноза (Сочава, 1976, 1978). Наряду с комплексными прогнозами важное значение приобретает и разработка частных прогнозов, наиболее детально и целенаправленно отражающих возможные изменения отдельных компонентов природных комплексов. К числу последних относится и предвидение будущей структуры растительности — компонента, играющего значительную роль в жизни человека. Кроме того, растительность, по словам В. Б. Сочавы (1976, с. 9), «. . . была, есть и будет интегральным показателем структуры геосистем в пространственном и временном аспектах».

Картографирование и картографический метод исследования играют большую роль при разработке как комплексных, так и частных прогнозов (Берлянт, 1976). Свойства карт, как образно-знаковых моделей действительности, используются на всех этапах их разработки, начиная от планирования исследований и накопления исходной информации и кончая пространственной интерпретацией модели прогноза в виде прогнозной карты. Прогнозные карты позволяют не только предвидеть будущую пространственную структуру прогнозируемых объектов и явлений, но и проводить с их помощью оценку достоверности самого прогноза (Сочава, 1974).

Ограниченная рамками частного прогноза задача предвидения будущей структуры растительного покрова все же остается достаточно сложной и многогранной. Она осложняется недостаточным вниманием к картографированию связей растительности с факторами среды и проблемам прогнозирования, а также неразработанностью ряда методических вопросов прогнозного картографирования (Сочава, 1974).

Настоящая работа представляет собой решение лишь частной задачи, связанной с построением и картографической интерпретацией в крупном масштабе формализованной прогностической модели одного из компонентов лесной растительности Среднего Сихотэ-Алиня. В основу модели положена зависимость состава древесного яруса от характеристик местообитания, возраста насаждения и некоторых внутри- и межъярусных отношений между элементами состава древостоя. Исследование растительности в крупном масштабе не только позволяет отобразить наиболее дробные в структурном и типологическом плане подразделения растительности, но и дает объективную основу для прогнозирования (Волкова, Федоровская, 1974).

Исследование закономерностей размещения явления на отдельных участках обследуемой территории позволяет экстраполировать выявленные закономерности на все пространство данной территории, т. е. осуществлять пространственный прогноз. На основе изучения пространственных рядов можно в целом ряде случаев достаточно строго проследить и развитие явления во времени, например, исследовать стадии развития фитоценоза, или его онтогенетические смены (Воронов, 1973).

Очевидно, что достоверность такого пространственно-временного прогноза будет зависеть от степени изученности явления в многообразии комбинаций состояний определяющих его распространение факторов, что

наиболее реально сделать при работе на достаточно большой территории. Заданный масштаб будет определять лишь степень детальности описания явления.

В качестве исходного фактического материала использовалось около 2500 геоботанических описаний, выполненных по стандартной схеме на 15 ключевых участках,[1] расположенных в наиболее контрастных в природном отношении районах, на площади более 1000 км^2. Исследуемая территория относится к геоботаническим округам Среднего и Южного Сихотэ-Алиня Южно-Охотской области темнохвойных лесов (Колесников, 1961) и расположена в пределах Дальнегорского, Кавалеровского и Чугуевского административных районов Приморского края. Описания проводились как в коренных сообществах, т. е. ненарушенных человеком или каким-либо катастрофическим фактором (Волкова, 1977), так и в производных, возникших на вырубках и гарях. Ключевые участки закладывались по всему высотному профилю (максимальные высоты до 1400 м) как в районах с господством определенной лесной формации, так и в районах, отличающихся сложностью рельефа, большой пестротой литологического состава и как следствие — сложностью структуры растительного покрова.

Анализ зависимости состава древостоя от условий среды, возраста насаждения, а также выявление внутри- и межъярусных отношений между его элементами проводились с помощью информационного метода (Пузаченко, Мошкин, 1969; Пузаченко, 1976). Данный метод представляет больше возможностей применительно к сложному поведению, нежели более известные методы корреляционного и дисперсионного анализов. Он не требует ни нормальности распределения, ни линейности связей, ни независимости признаков (Александрова, 1970). Названные особенности информационного метода определяют его все более широкое использование и при исследовании связи растительности с условиями окружающей среды (Выгодская, Пузаченко, 1969; Скулкин, 1976; Апалькова, Петропавловский, 1976; Буданцев, 1978, и др.). Поскольку детальное описание метода сделано в перечисленных выше работах, естественно будет остановиться лишь на его наиболее общих приемах, учитывая особенности изучаемого объекта.

В качестве анализируемых явлений рассматривались доминанты и содоминанты I и II ярусов древостоя и в качестве их возможных состояний — 20 основных видов деревьев. Возраст насаждения условно устанавливался по возрасту доминирующей породы I яруса. Учитывая порог статистической различимости и естественные циклы возобновления ряда древесных пород, в том числе и основной лесообразующей породы данной территории — кедра (Колесников, 1956), число возрастных рангов насаждения было установлено от «0» до «240 и более лет», с шагом в 40 лет.

Число характеристик среды, определяющих структуру растительного покрова конкретной территории, может быть достаточно велико. Однако их известная взаимосвязанность и неравноценность определения позволяют оперировать только теми, для которых установлен наибольший вес в индикации изучаемого явления. В частности, для горных территорий целесообразно рассматривать различные характеристики рельефа местности, как основные трансформаторы гидротермического режима, непосредственно влияющие на разнообразие естественной растительности (Лятифова, 1973; Киселев, 1976).

Задача картографической экстраполяции также накладывает свои ограничения на выбор характеристик (факторов) среды. Их значения

---

[1] Геоботанические исследования проводились в 1972—1975 гг. сотрудниками Лаборатории географии биогеоценозов Тихоокеанского института географии ДВНЦ АН СССР и Комплексной восточной экспедиции МГУ под общим руководством докт. геогр. наук Ю. Г. Пузаченко.

должны достаточно точно и однозначно определяться не только на местности, но и на карте-основе. К последней в силу ее многих положительных свойств (документальность, многоцелевая направленность, возможность представлять различные численные характеристики местности и т. д.) можно отнести топографическую карту, которая, впрочем, достаточно широко используется при исследовании и картографировании растительности.

Учитывая вышесказанное, к числу характеристик среды, потенциально определяющих состав древесного яруса, были отнесены: удаленность от моря, абсолютная высота над уровнем моря, а также крутизна, экспозиция и элемент рельефа (пойма, части склонов, водораздел). Если первые 2 характеристики определяют природные особенности сравнительно больших участков территории, то пространственные вариации последних вызывают локальное изменение режимов увлажнения, инсоляции, петрофитности и т. д. Кроме названных характеристик, значения которых легко могут быть получены с топографических карт, в анализе рассматривалась и каменистость почвы, наиболее общие состояния которой могут непосредственно или по индикационным признакам определяться на крупномасштабных аэрофотоснимках (за исключением, конечно, участков с высокосомкнутыми насаждениями).

Исследуемая территория характеризуется наличием двух ярко выраженных подтипов рельефа: крутосклонных среднегорий, сложенных эффузивными, интрузивными и прочными метаморфическими породами, и сложенных среднегорий в районах с преобладанием осадочных пород палеозойского и мезозойского возраста. Наличие данных подтипов рельефа, занимающих обширные пространства и определяющих существенные различия многих типов леса, и в частности кедровых (Колесников, 1956), выявило необходимость раздельного анализа фактического материала внутри названных геолого-геоморфологических комплексов. Такое разделение позволило избежать заведомых осреднений и соответственно повысить точность анализа и последующих преобразований.

Непосредственно в процессе анализа выделялись вероятностные (характерные) параметры соответствия явления (доминантов и содоминантов древесного яруса) условиям среды, возрасту насаждения и т. д. и определялись информационные меры связи между ними: $T(X, Y)=H(X)+H(Y)-H(X, Y)$, где H — статистическая мера неопределенности.

Связь явления X с названными характеристиками определялась с помощью нормированного коэффициента сопряженности (связи):

$$K(X, Y)=\frac{2^{T(X, Y)}-1}{2^{H_{\min}}-1},$$

где $2^{T(X, Y)}$ — число общих состояний явления X и характеристики Y и $2^{H_{\min}}$ — число общих состояний при максимально возможной сопряженности X и Y. Для каждого из состояний характеристик среды, рангов возраста насаждения и состояний внутри- и межъярусной сопряженности определялись частные коэффициенты связи (классификационные критерии), характеризующиеся отношением апостериорной вероятности для данных состояний или рангов по всем доминирующим или содоминирующим породам к априорной.

Значимость измеренных величин оценивалась проверкой достоверности различий апостериорного (условного) и априорного (безусловного) распределений явления по каждому состоянию характеристики среды или ранга возраста с помощью критерия X^2. Если в результате проведенных оценок оказывалось, что условное распределение недостоверно отличается от априорного, это распределение объединялось с ближайшим, наиболее сходным с ним. Такое объединение позволяет за счет уменьшения детальности анализа увеличивать его достоверность (Пузаченко, Мошкин, 1969).

В результате анализа были составлены таблицы частных мер связи для 24 вариантов «элемент состава древостоя—характеристика среды» (4 элемента, 6 характеристик), 4 вариантов «элемент состава—возраст насаждения» и 6 вариантов, отражающих внутри- и межъярусную сопряженность между элементами состава древостоя: «содоминант I яруса—доминант I яруса», «доминант II—доминант I», и т. д.

Таблица 1

Определение доминанта I яруса древостоя для заданного возраста (120 лет) и типа местообитания

Характеристика местообитания	Отс.	Кк	Еа	Пб	Ос	Дм	Кл	Лп	Бб	Бд	Бж	Прочие породы
Высота 500—600 м	0	1	0	0	—	1	—	1	0	1	0	—
Средняя часть склона	0	0	1	1	—	0	—	0	0	—	1	—
Юго-западная экспозиция	0	1	1	0	0	1	—	1	0	—	0	—
Крутизна $>30°$	0	1	0	0	—	1	0	1	0	—	1	—
Каменистость сильная	1	0	0	—	—	1	1	0	1	—	0	—
Удаленность от моря 50 км	1	1	0	1	0	—	1	0	0	—	1	1
Σ	2	4	2	—	—	—	—	3	1	—	3	—
Возраст 120 лет	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	—
Σ	2	5	3	—	—	—	—	4	1	—	4	—

Примечание. Отс. — отсутствие яруса, Кк — кедр корейский (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zuss.), Еа — ель аянская (*Picea ajanensis* Fisch.), Пб — пихта белокорая (*Abies nephrolepis* Maxim.), Ос — осина Давида (*Populus davidiana* Dode), Дм — дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch.), Кл — клен мелколиственный (*Acer mono* Max.), Лп — липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.), Бб — береза белая (*Betula mandschurica* Nakai), Бд — береза даурская (*B. dahurica* Pall.), Бж — береза желтая (*B. costata* Midd.). Прочие породы — черемуха, рябина, ясень, некоторые виды клена и др.

На основании частных мер связи решалась задача распознавания доминирующих и содоминирующих пород каждого яруса для заданного возраста насаждения и состояний характеристик среды (табл. 1). Следует отметить, что определение доминанта I яруса основывалось на его связи с возрастом и условиями среды, тогда как при определении остальных элементов состава последовательно учитывались внутри- и межъярусные отношения между ними. Последнее объясняется известной связью между содоминантами и доминантами внутри яруса и влиянием I яруса на состав II.

Для удобства оперирования частные коэффициенты связи (табл. 1) давались значениями «1», если их величина больше единицы, и «0», если меньше (соответственно «характерное» и «не характерное» состояние явления при заданных условиях). Прочерками обозначалось отсутствие какого-либо состояния при тех же условиях. Распознавание доминирующего и содоминирующего видов конкретного яруса по заданным состояниям среды и возраста основывалось на принципе пороговой логики, где истиной признавалась та порода, по отношению к которой выявлялось большее число (без учета величины) коэффициентов связи. Так, в рассмотренном примере (табл. 1) в качестве доминанта I яруса определяется кедр корейский. Коэффициенты связи, свидетельствующие об отсутствии доминанта (в данном случае отсутствие яруса вообще), могут служить в какой-то мере показателем пожароопасности участка, поскольку отсутствие яруса характерно для гарей.

Для определения содоминанта I яруса (для этого же примера) составляется аналогичный прогностический тест, т. е. для тех же состояний характеристик среды и возраста, но уже с включением определенного состояния доминанта, в данном случае кедра. Аналогично определяется доминант II яруса, т. е. с учетом состояний доминанта и содоминанта I яруса, и т. д.

Если в качестве доминанта (содоминанта) распознается несколько пород, то истиной принимается та, по отношению к которой сумма мер информативности, взятых по модулю, наибольшая (Пузаченко, 1975). Количество информации (мера информативности), содержащееся в Y_k относительно X, есть величина:

$$I(X/Y_k) = H(X) - H(X/Y_k),$$

где

$$H(X/Y_k) = -\sum_{i=1}^{n} p(x_i/y_j) \log_2 p(x_i/y_j).$$

Проверка работы распознающей модели проводилась на независимой, т. е. не включенной в анализ, территории, отличающейся пестротой и сложностью структуры древесной растительности и достаточно высокой степенью антропогенного воздействия, т. е. территории, на которой ожидались наибольшие ошибки в определении состава древостоя.

Таблица 2

Сравнение фактических и прогнозируемых частот встречаемости элементов состава древесного яруса (участок «Медвежий»)

Частота встречаемости	Кк	Еа	Пб	Ос	Дм	Кл	Лп	Бб	Бж	n
Доминант I яруса										
Фактическая	25	3	1	—	—	—	11	—	—	40
Прогнозируемая	27	—	2	—	—	—	11	—	—	40
Содоминант I яруса										
Фактическая	15	3	1	—	6	—	8	5	2	40
Прогнозируемая	14	4	—	—	3	—	9	8	2	40
Доминант II яруса										
Фактическая	1	—	26	—	—	10	3	—	—	40
Прогнозируемая	1	—	24	1	—	9	5	—	—	40
Содоминант II яруса										
Фактическая	12	—	1	2	—	15	5	3	2	40
Прогнозируемая	17	—	—	2	5	5	9	2	—	40

Примечание. В головке таблицы породы те же, что и в табл. 1.

Сравнение фактических и прогнозируемых частот встречаемости элементов состава древостоя (табл. 2) с помощью критерия X^2 показывает, что вероятность случайности имеющихся отклонений эмпирического ряда от теоретического для первых трех элементов состава превышает 90—95%. Совпадение рядов очень хорошее. Для содоминанта II яруса вероятность случайности отклонений составляет всего 30%. Величина ошибки определения доминанта I яруса составляет 10%, содоминанта I яруса — 20%, доминанта II яруса — 15% и содоминанта II яруса — более 50%. Последняя ошибка является достаточно высокой, что заставляет признать распознавание содоминанта II яруса неудовлетворительным. Подобное положение можно объяснить как трудностью выделения данного элемента древостоя на местности (в обычно низкосомкнутом и многопородном II ярусе), так и, по-видимому, недостаточным числом характеристик среды, определяющих его. Распознавание же состояний остальных элементов может быть признано достаточно хорошим, тем более что даже имеющиеся ошибки в основном не носят принципиального характера (доминирующая порода распознается как содоминирующая, и наоборот).

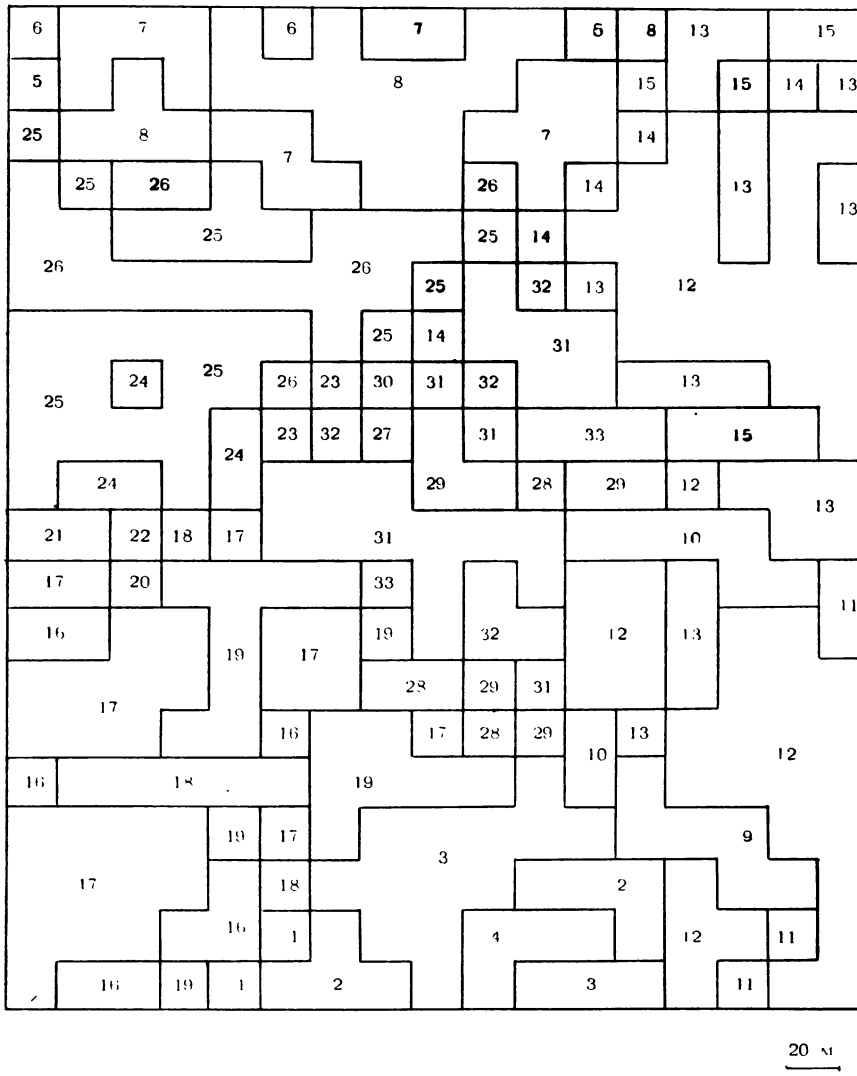
Поскольку в анализ вошли материалы с достаточным разнообразием состояний и собранные на значительной территории, то экстраполяция (пространственный прогноз) состояний явления может быть осуществлена для любой точки, характеристики которой соответствуют состояниям характеристик, включенных в анализ. Таким образом, если, исходя из наиболее физиономичных характеристик доминанта I яруса (высота и ширина крон), определить по аэрофотоснимкам современный возраст древостоя, то для любого местообитания в пределах обследованной территории можно восстановить его состав. Сопоставляя результаты восстановления с дешифрировочными признаками пород можно дополнительно определить точность аппроксимации.

Основываясь на частных мерах связи в таблицах «элемент состава—возраст», можно перейти и к прогнозу изменения состава древесного яруса во времени, задавая интересующий нас возраст. Естественно, что прогноз во времени оправдается, если за данный период растительность или территория не подвергнутся существенному антропогенному воздействию и не произойдет значительных климатических изменений.

Следует также оговорить некоторые условия настоящего прогноза. В силу специфики сбора исходного материала были получены проекции в пространстве изменений, происходящих в исследуемом компоненте растительности во времени. Строго говоря, в данных проекциях в той или иной мере нашли отражение все существующие типы изменений, однако наиболее реально говорить о фиксации возрастных и различного рода восстановительных смен, наложенных друг на друга. Подобное наложение изменений естественно приведет при прогнозировании к определенному затушевыванию индивидуальных особенностей развития конкретных древостоев. В то же время их будущая структура будет определяться как общими чертами развития лесов исследованной территории, так и особенностями развития в сходных поместных условиях, включая и изменения, внесенные ранее антропогенной деятельностью. Таким образом, результатом прогноза явится предвидение структуры в одних случаях коренных, в других — потенциальных лесных ценозов, являющихся символами совокупности гомологических сообществ на равноценных местообитаниях (Шлютер, 1976).

Максимальный срок прогнозирования для возрастных состояний коренных и потенциальных сообществ (в роли последних могут выступать квазикоренные и длительнопроизводные леса), имеющих в составе насаждения долгоживущие породы (кедр, ель, дуб, береза желтая и др.), будет определяться отрезком времени, за который данные сообщества достигнут 200—240-летнего и более возраста, т. е. стадий спелости и перестойности. Прогноз дальнейшего развития перестойных лесов, как нынешних, так и достигнувших этой стадии в будущем, может быть осуществлен, исходя из условия вырождения наиболее старого поколения доминирующей породы и выхода в I ярус нового, находящегося на более низкой возрастной стадии. В частности, при отпаде перестойного (240 и более лет) поколения кедра корейского в кедрово-широколиственных лесах I ярус занимает другое поколение, примерно 120—160-летнего возраста (Колесников, 1956), и цикл повторяется. Здесь, однако, следует учитывать, что возрастные смены в лесных формациях хотя и имеют циклический характер, но совершаются не по замкнутому кругу и способны переходить в новое качественное состояние (Колесников, 1956; Куренцова, 1973). Последнее обстоятельство не позволяет, без достаточной степени риска, осуществлять временной прогноз на срок, превышающий продолжительность жизни одного поколения коренных пород (200—280 лет).

Определение предельного возраста насаждения может производиться и при прогнозировании будущей структуры короткопроизводных лесов, возникших на сплошных и выборочных рубках, а также на гарях, при условии возобновления на них вместе с производными и коренной породы



Экспозиция	Крутизна склона, °	700—600 м абс. выс.			600—500 м абс. выс.		
		верхняя часть склона			средняя часть склона		
		каменистость					
		нет	средняя	сильная	нет	средняя	сильная
Север	10—20				16		27
	20—30	1			17		
	> 30						28
Северо-запад	10—20	2			18		
	20—30	3		9	19		
	> 30			10	20		29
Запад	10—20	4		11	21		30
	20—30			12			31
	> 30			13			32
Юго-запад	10—20				22		
	20—30		5	14		23	
	> 30		6	15			33
Юг	10—20					24	
	20—30		7			25	
	> 30		8			26	

Рис. 1. Карта-схема местообитаний.
Цифрами даны номера типов местообитаний.

вскоре после вырубки или пожара. В случае начала сукцессионной смены через травяно-кустарниковую стадию срок прогноза будет определяться по заданному возрасту доминанта I яруса плюс время прохождения названной стадии.

Очевидно, что наилучшие результаты прогноза развития структуры леса в процессе восстановительных смен следует ожидать в районах наибольшего распространения производных сообществ, т. е. там, где соответствующий фактический материал достаточно репрезентативен. В районах с господством коренных и квазикоренных лесов такой прогноз может не оправдаться. Путь повышения его достоверности — введение в прогностический тест характеристик давности (насколько это можно определить), степени и характера антропогенного воздействия.

На основе распознающей модели была составлена серия крупномасштабных прогнозных карт на участки с сохранившейся («Медвежий») и уничтоженной в результате пожара («Волковский») древесной растительностью. В качестве карты-основы использовались листы топографических карт, на которых картографируемая территория разбивалась на квадраты со стороной, соответствующей на местности 20 м (примерный размер площади описания древостоя в натуре). Квадратная сетка, относящаяся к регулярному оператору преобразования (Берлянт, 1978), обеспечивает равномерное преобразование исходного картографического изображения с заданным шагом. Регулярные сетки обладают хорошей репрезентативностью и наиболее целесообразны для преобразования непрерывных полей. Далее для каждого квадрата определялся присущий соответствующему участку местности набор состояний характеристик среды и соседние квадраты с идентичными наборами объединялись в общие контуры. Таким образом была составлена карта-схема местообитаний (рис. 1). По описанной выше схеме для каждого типа местообитаний определялись наиболее характерные виды — доминанты и содоминанты I яруса, а также доминанты II яруса для заданного возраста насаждения. Каждый из элементов состава древостоя обозначался условным знаком, в результате получалась аналитическая карта структуры древесного яруса на интересующий нас момент времени.

В итоге на территорию первого участка были составлены крупномасштабные карты воспроизведения современной структуры древесного яруса и возможного ее изменения через 100 лет (современный возраст древостоев от 40 до 160 лет). На примере карты воспроизведения современной структуры древостоя была осуществлена проверка правильности работы прогностической модели (табл. 2).

На территорию участка «Волковский» с уничтоженной в результате вырубки и последующего пожара древесной растительностью были составлены карты прогнозируемой структуры древостоя по достижении им в процессе восстановления возраста 120 и более 240 лет (рис. 2, 3). Этот участок, так же как и первый, расположен на восточном макросклоне в средневысотном (400—800 м) поясе смешанных лесов (в основном широколиственно-кедровых насаждений). Для данного района характерно преобладание осадочных пород. На окружающей участок территории помимо коренных лесов значительные площади занимают вторичные белоберезовые и осиново-белоберезовые леса, в основном пирогенного происхождения. При отсутствии повторных палов под пологом мелколиственных пород обычно наблюдается жизнеспособное возобновление и подрост кедра (на южных экспозициях) и кедра, пихты и реже ели (на северных), что позволяет отнести данные леса к кратковременнопроизводным сообществам.

В настоящее время склон северной экспозиции (см. рис. 1) занят молодым (25 лет) белоберезняком с участием осины и березы желтой. По возрасту данного насаждения можно примерно определить возраст гари. Под пологом березняка имеется жизнеспособное возобновление кедра и

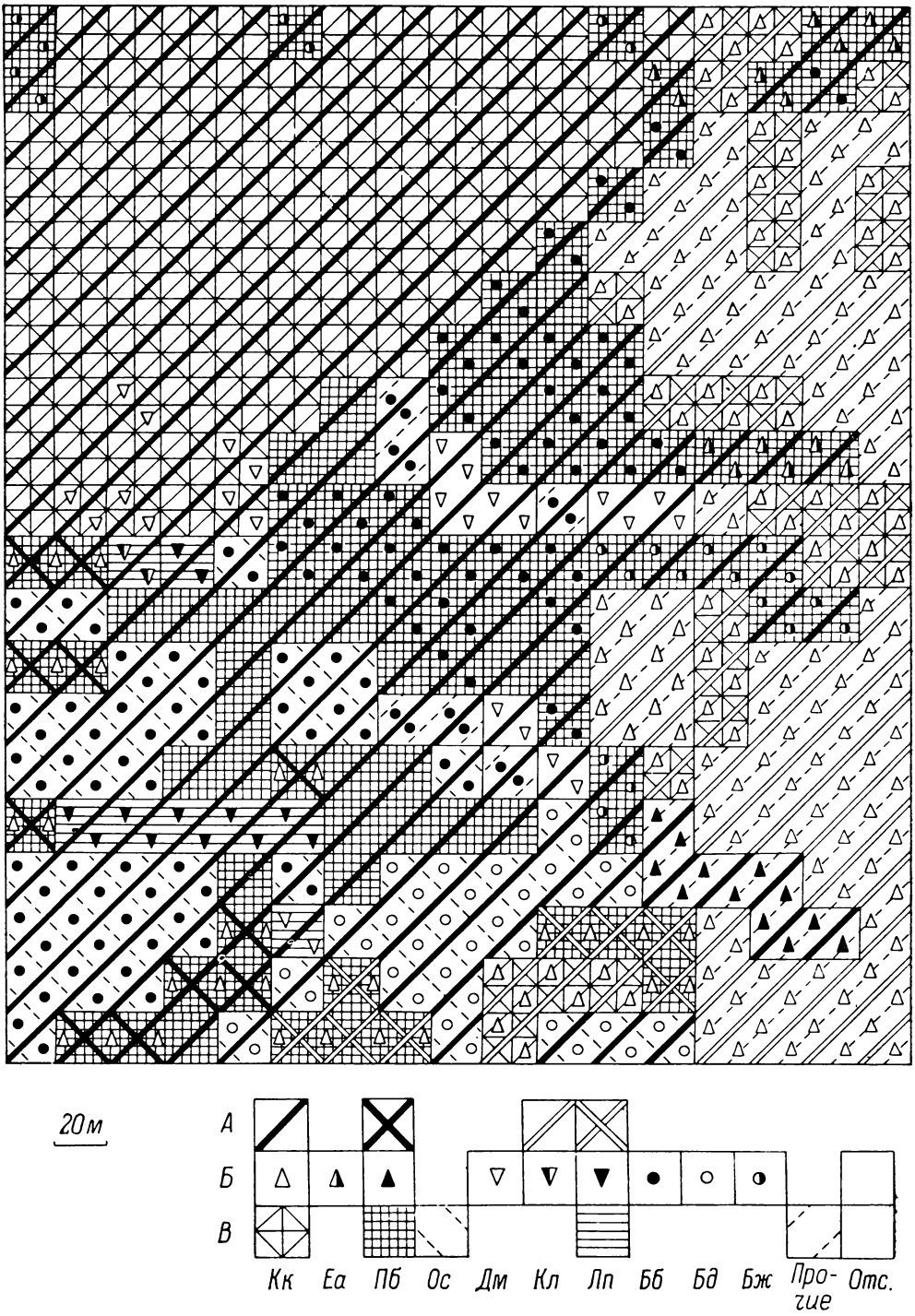


Рис. 2. Прогнозируемые элементы структуры древостоя (возраст доминанта I яруса 120 лет).

А — доминант I яруса; *Б* — содоминант I яруса; *В* — доминант II яруса. Обозначения пород те же, что и в табл. 1.

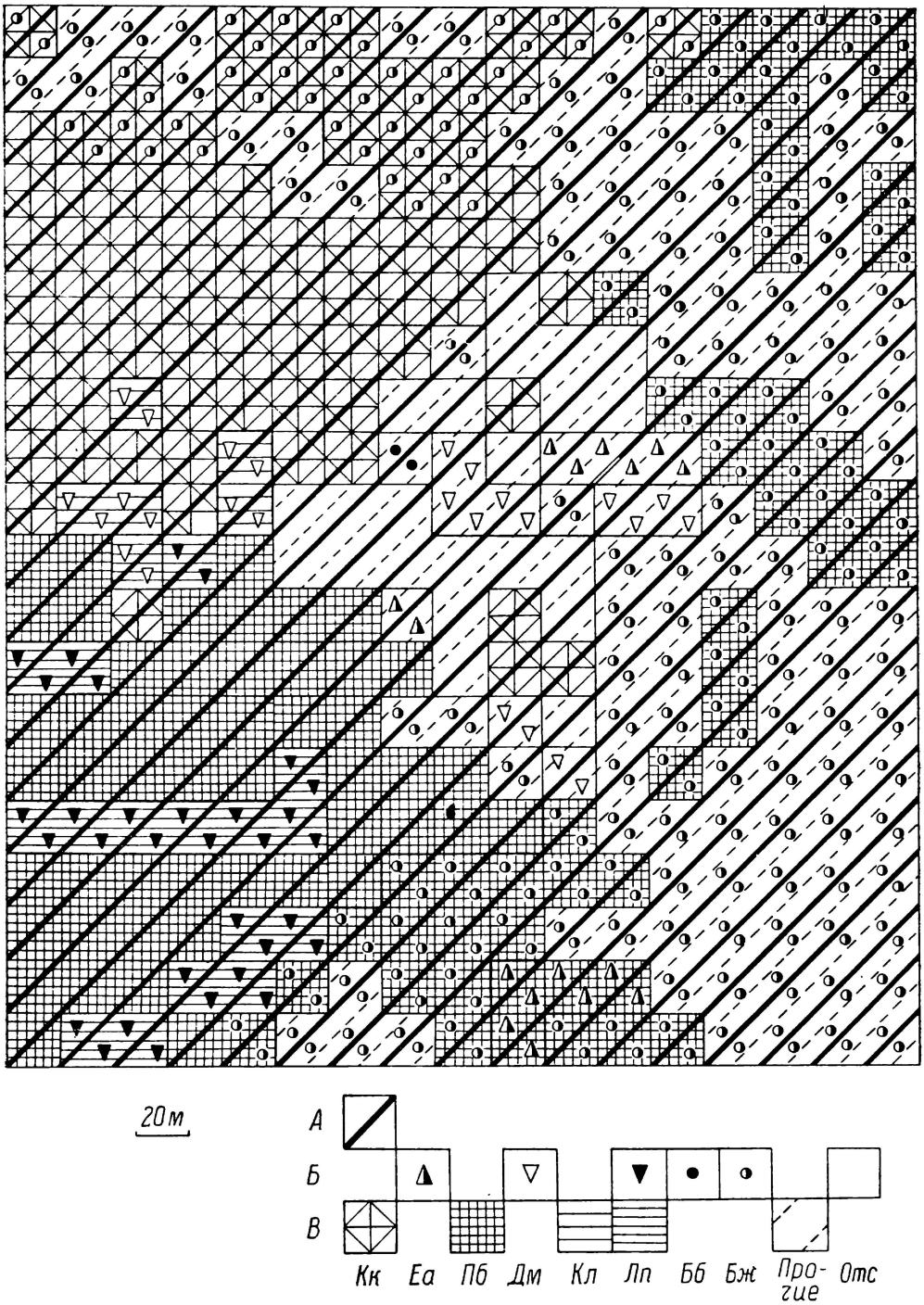


Рис. 3. Прогнозируемые элементы структуры древостоя (возраст доминанта I яруса 240 лет).

Обозначения те же, что на рис. 2.

пихты. На склонах южной и западной экспозиций наблюдается лишь куртинное произрастание пионерных широколиственных и мелколиственных пород. В верхней части южного склона и на водоразделе, примыкающем к склону северной экспозиции, сохранились участки разреженного материнского древостоя (кедр, клен, единично липа, дуб, пихта). Все это вместе с оптимальными для возобновления кедра климатическими условиями района позволяет говорить о восстановлении роли коренных пород, и в первую очередь кедра, в течение жизни одного его поколения.

Почти полное отсутствие возобновления кедра на южном и западном склонах, занятых в настоящее время в основном травяно-кустарниковыми сообществами, объясняется отсутствием сомкнутого полога из пионерных древесных пород. Развитие последнего, сдерживаемое спецификой микроклиматического режима на склонах этих экспозиций, а также повышенной каменистостью почвы, следует, по-видимому, ожидать через 15—20 лет. Таким образом, достижение заданного возраста насаждения на склонах южной и западной экспозиций произойдет примерно на 40—50 лет позднее, нежели на северной.

Обращаясь к картам прогноза структуры древостоя, можно отметить, что при достижении насаждением возраста 120 лет (рис. 2) первоначальное господство в I ярусе березы белой прекратится. На большей части участка доминантом станет кедр, а в верхней части западного склона — клен; береза выступит в роли содоминанта или вообще отойдет к третьестепенным видам. На южном склоне можно будет наблюдать стадию так называемого «кедрового бора» с абсолютным господством кедра в I ярусе и доминированием во II. На наиболее пологих частях склона северной экспозиции будут доминировать пихта и липа. Следует отметить, что господство в I ярусе пихты нужно рассматривать (для данного района) исключительно как восстановительную стадию. Некоторое сомнение вызывает предсказание на склоне северо-западной экспозиции в качестве содоминанта березы даурской — вида, не характерного для данного района. Однако подобная ситуация в аналогичных условиях местообитания, но на небольшой площади была отмечена нами в соседнем бассейне-аналоге с сохранившимся древостоем 140-летнего возраста.

В целом видовой состав и структура древесного яруса при заданном 120-летнем возрасте насаждения будут отличаться большим разнообразием, что характерно для кедровых лесов данного возраста (Колесников, 1956). Проверка прогнозируемой ситуации со структурой одновозрастных лесов бассейна-аналога показала большую вероятность осуществления прогноза, и в частности развития «кедровых боров» на крутых (20—30°) и очень крутых (>30°) склонах южных экспозиций.

Изменение структуры древесного яруса к заданному возрасту 240 и более лет представлено на рис. 3. В целом произойдет сокращение числа видов доминантов и содоминантов I яруса за счет выпадения одновозрастных с данным поколением кедра, но недолго живущих пород (пихта, береза белая). За счет уменьшения числа комбинаций видов произойдет также и определенное упрощение пространственной структуры древесного яруса. Усилится господство кедра; на значительной площади участка содоминантом станет береза желтая, игравшая ранее роль третьестепенного вида; на склоне северной экспозиции во II ярусе будет господствовать новое поколение пихты. Подобное упрощение структуры древостоя было отмечено и для первого участка при прогнозе развития современного древесного яруса (преобладающий возраст 100—140 лет) на период в 100 лет. К сожалению, отсутствие в данном районе значительных по площади кедрово-широколиственных лесов 240-летнего и более старшего возраста не позволило выбрать подходящий участок-аналог для проведения полного сравнительного анализа прогнозируемой ситуации с реальной. В то же время сравнение с фрагментарными участками лесов данного

возраста не обнаружило существенных противоречий с результатами прогноза.

Для того чтобы наиболее полно отобразить, в том числе и картографически, особенности развития древесного яруса, необходимо воспроизвести его состав для всего выбранного возрастного спектра. Полученная

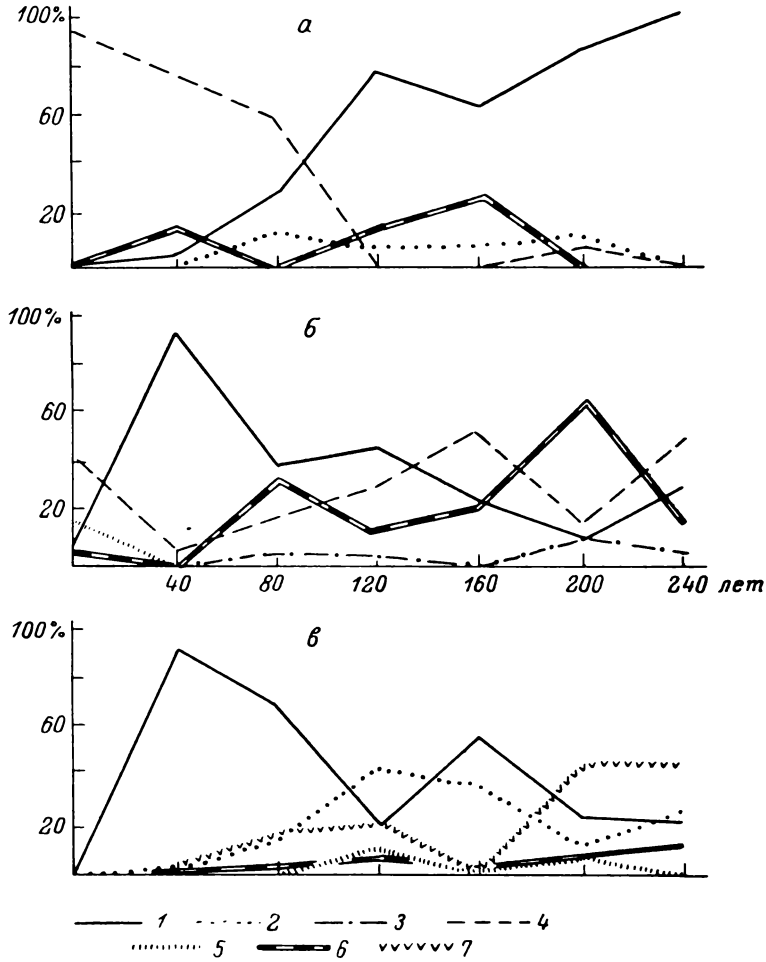


Рис. 4. Схема развития древостоя на участке «Волковский».

По оси абсцисс — возраст насаждения, *по оси ординат* — площадь, занятая доминирующей (содоминирующей) породой, %. *а* — доминанты I яруса, *б* — содоминанты I яруса, *в* — доминанты II яруса. *1* — кедр, *2* — пихта, *3* — ель, *4* — береза белая+береза желтая, *5* — осина, *6* — широколиственные породы (клен, липа, дуб), *7* — прочие.

серия карт, помимо самостоятельного значения, может помочь при создании карт районирования по особенностям прохождения возрастных и восстановительных смен, при выборе наиболее оптимального возраста насаждения в отношении более ценного с хозяйственной точки зрения состава древостоя и т. д. На рис. 4 показано изменение состава древесного яруса в границах выбранного возрастного спектра на модельном участке «Волковский». Достаточно хорошая согласованность приведенной схемы развития с известными схемами развития кедрово-широколиственных лесов Б. А. Ивашкевича (1931) и Б. П. Колесникова (1956), с учетом развития кедра под пологом мелколиственных пород, также может служить оценкой правильности прогноза.

Построенные аналитические карты обладают разнообразной информацией, поскольку отображают пространственные вариации отдельных

элементов структуры древостоя, а также дают представление о его составе в конкретном местообитании и пространственной структуре на картографируемой территории в целом. В зависимости от поставленных целей информация, заключенная в данных картах, может быть интерпретирована для составления карт современного и будущего распространения отдельных пород, карт ареалов, например видов-доминантов, лесотипологических карт и т. д.

Рассмотренная методика создания прогнозных карт одного из компонентов лесной растительности — древесного яруса — может быть применена и к созданию карт прогноза других ее компонентов, и в первую очередь естественного возобновления и кустарникового яруса. В этом случае прогноз состава древесного яруса, играющего значительную роль при сложении состава нижних ярусов, будет являться промежуточным и необходимым звеном при определении последних.

Следует отметить, что прогноз только видового состава древостоя дает далеко не полное представление о возможности его хозяйственного использования. Необходим еще ряд признаков, позволяющих учитывать продуктивность древостоя, прежде всего полнота насаждения, обычно сопряженная с сомкнутостью крон, и бонитет насаждения. Зависимость продуктивности древесных пород от факторов среды и возраста насаждения также может быть выявлена на ключевых участках (Михайлов и др., 1978) и экстраполирована на всю исследуемую территорию. Данные о сомкнутости древесного яруса также необходимы и при прогнозе состава нижних ярусов.

ЛИТЕРАТУРА

Александрова Т. Д. 1970. Анализ возможностей и ограничений применения методов математической статистики в ландшафтных исследованиях. Изв. АН СССР. Сер. геогр., № 5. — Апалькова Л. А., Б. С. Петропавловский. 1976. К вопросу о закономерностях формирования древесного яруса в поясе широколиственных лесов Среднего Сихотэ-Алиня. В кн.: Статистические методы исследования геосистем. Владивосток. — Берлянт А. М. 1976. Использование карт для целей прогноза. В кн.: Картография, 6. (Итоги науки и техники). М. — Берлянт А. М. 1978. Преобразование картографического изображения как способ географического моделирования. В кн.: Новые методы в тематическом картографировании. М. — Буданцев П. Б. 1978. Почвенно-экологические условия роста интродуцированных и аборигенных пород в европейской части СССР. Автореф. канд. дисс. М. — Волкова В. Г. 1977. Систематизация переменных состояний растительного покрова степи для целей моделирования. В кн.: Стационарные исследования и моделирование геосистем. Иркутск. — Волкова В. Г., З. Д. Федоровская. 1974. Опыт прогноза потенциальной растительности на основе крупномасштабного картографирования. В кн.: Геоботаническое картографирование 1974. Л. — Воронов А. Г. 1973. Геоботаника. М. — Выгодская Н. Н., Ю. Г. Пузаченко. 1969. Влияние некоторых параметров биогеоценоза на структуру травянистого яруса в мелколиственных лесах. В кн.: Применение количественных методов при изучении структуры растительности. Рига. — Ивашкевич Б. А. 1931. Введение. В кн.: Таблицы сбега и массы главнейших дальневосточных древесных пород. Владивосток. (Тр. Дальневост. лесотехн. инст., вып. 1) — Киселев А. Н. 1976. Некоторые результаты исследования распределения растительности в Среднем Сихотэ-Алине по материалам дешифрирования аэрофотоснимков. В кн.: Статистические методы исследования геосистем. Владивосток. — Колесников Б. П. 1956. Кедровые леса Дальнего Востока. М.—Л. — Колесников Б. П. 1961. Растительность. В кн.: Дальний Восток. М. — Куренцова Г. Э. 1973. Естественные и антропогенные смены растительности Приморья и Южного Приамурья. Новосибирск. — Лятифова А. Х. 1973. Горизонтальная структура субальпийских лугов Малого Кавказа и ее связь с почвенно-топологическими факторами. Автореф. канд. дисс. Л. — Михайлов Н. И., С. Е. Сальников, М. Н. Губанов, Н. М. Киселев, В. В. Масленникова, В. А. Скорняков, И. Е. Тимашев, Л. Н. Щербакова. 1978. Карты как средство исследования и пространственного анализа в физико-географическом прогнозировании. Изв. ВГО, т. 110, № 3. — Пузаченко Ю. Г. 1975. Сопряженность границы леса и тундры с климатом. В кн.: Исследования взаимодействий в геосистемах. Владивосток. — Пузаченко Ю. Г. 1976. Принципы информационного анализа. В кн.: Статистические методы исследования геосистем. Владивосток. — Пузаченко Ю. Г., А. В. Мошкин. 1969. Информационно-логический ана-

лиз в медико-географических исследованиях. В кн.: Медицинская география. 3. (Итоги науки и техники). М. — Скулкин В. С. 1976. Проверка возможностей прогноза состава растительности на основе анализа общих закономерностей связи ее компонентов со средой. В кн.: Статистические методы исследования геосистем. Владивосток. — Сочава В. Б. 1974. Карты растительности в серии карт среды обитания. В кн.: Геоботаническое картографирование 1974. Л. — Сочава В. Б. 1976. Вопросы развития прикладных географических исследований в связи с географическим прогнозом. В кн.: Актуальные вопросы современной прикладной географии. Иркутск. — Сочава В. Б. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск. — Шлютер Х. 1976. Геоботаника и картографирование растительности как основа для анализа экосистем и ландшафта. В кн.: Геоботаническое картографирование 1976. Л.

Александрова В. Д. 1970. Анализ возможностей и ограничений применения методов математической статистики в ландшафтных исследованиях // Изв. АН СССР. Сер. геогр., № 5.

Апалькова Л. А., Б. С. Петропавловский. 1976. К вопросу о закономерностях формирования древесного яруса в поясе широколиственных лесов Среднего Сихотэ-Алиня // Статистические методы исследования геосистем. Владивосток.

Берлянт А. М. 1976. Использование карт для целей прогноза // Картография, 6. (Итоги науки и техники). М.

Берлянт А. М. 1978. Преобразование картографического изображения как способ географического моделирования // Новые методы в тематическом картографировании. М.

Буданцев П. Б. 1978. Почвенно-экологические условия роста интродуцированных и аборигенных пород в европейской части СССР. Автореф. канд. дисс. М.

Волкова В. Г. 1977. Систематизация переменных состояний растительного покрова степи для целей моделирования // Стационарные исследования и моделирование геосистем. Иркутск.

Волкова В. Г., З. Д. Федоровская. 1974. Опыт прогноза потенциальной растительности на основе крупномасштабного картографирования // Геоботаническое картографирование 1974. Л. https://doi.org/10.31111/geobotmap/1974.40

Воронов А. Г. 1973. Геоботаника. М.

Выгодская Н. Н., Ю. Г. Пузаченко. 1969. Влияние некоторых параметров биогеоценоза на структуру травянистого яруса в мелколиственных лесах // Применение количественных методов при изучении структуры растительности. Рига.

Ивашкевич Б. А. 1931. Введение // Таблицы сбега и массы главнейших дальневосточных древесных пород. Владивосток. (Тр. Дальневост. лесотехн. инст., вып. 1)

Киселев А. Н. 1976. Некоторые результаты исследования распределения растительности в Среднем Сихотэ-Алине по материалам дешифрирования аэрофотоснимков // Статистические методы исследования геосистем. Владивосток.

Колесников Б. П. 1956. Кедровые леса Дальнего Востока. М.; Л.

Колесников Б. П. 1961. Растительность // Дальний Восток. М.

Куренцова Г. Э. 1973. Естественные и антропогенные смены растительности Приморья и Южного Приамурья. Новосибирск.

Лятифова А. Х. 1973. Горизонтальная структура субальпийских лугов Малого Кавказа и ее связь с почвенно-топологическими факторами. Автореф. канд. дисс. Л.

Михайлов Н. И., С. Е. Сальников, М. Н. Губанов, Н. М. Киселев, В. В. Масленникова, В. А. Скорняков, И. Е. Тимашев, Л. Н. Щербакова. 1978. Карты как средство исследования и пространственного анализа в физико-географическом прогнозировании. Изв. ВГО, т. 110, № 3.

Пузаченко Ю. Г. 1975. Сопряженность границы леса и тундры с климатом // Исследования взаимодействий в геосистемах. Владивосток.

Пузаченко Ю. Г. 1976. Принципы информационного анализа // Статистические методы исследования геосистем. Владивосток.

Пузаченко Ю. Г., А. В. Мошкин. 1969. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях // Медицинская география. 3. (Итоги науки и техники). М.

Скулкин В. С. 1976. Проверка возможностей прогноза состава растительности на основе анализа общих закономерностей связи ее компонентов со средой // Статистические методы исследования геосистем. Владивосток.

Сочава В. Б. 1974. Карты растительности в серии карт среды обитания // Геоботаническое картографирование 1974. Л. https://doi.org/10.31111/geobotmap/1974.3

Сочава В. Б. 1976. Вопросы развития прикладных географических исследований в связи с географическим прогнозом // Актуальные вопросы современной прикладной географии. Иркутск.

Сочава В. Б. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск.

Шлютер Х. 1976. Геоботаника и картографирование растительности как основа для анализа экосистем и ландшафта // Геоботаническое картографирование 1976. Л. https://doi.org/10.31111/geobotmap/1976.22