

АКТУАЛИЗАЦИЯ ЛАНДШАФТНОЙ КАРТЫ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА)

М.Ю. Пузаченко

Лаборатория биогеоценологии и
исторической экологии ИПЭЭ РАН

E-mail: puzak@bk.ru

Actualization of landscape map by basis of remote information
(by the example of Northern Caucasia)

M.J.Puzachenko

Большое количество тематических картографических материалов с той или иной позиции характеризующих экосистемы, особенно на региональном и субконтинентальном уровне дает широкие возможности для характеристики и изучения обширных регионов. Данные материалы могут быть полезны при оценке биоресурсов, биоразнообразия, динамики и эволюции экосистем и др. Однако непосредственное использование этих материалов, созданных в большей своей части в 1950-1980 гг., для анализа современного состояния территорий малоэффективно как в связи с потерей временной актуализации, так и в отсутствии пространственной информации, доступной в настоящее время. Современное развитие вычислительной техники позволяет количественно анализировать большие массивы пространственно сопряженной информации, что в совокупности с использованием современных доступных источников пространственных данных и методов их обработки открывает широкие перспективы в актуализации и уточнении тематических карт.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа по актуализации ландшафтной карты проводилась в рамках проекта WWF России по проектированию сети особо охраняемых территорий Северного Кавказа. Векторное полигональное покрытие, содержащее фрагмент ландшафтной карты Кавказа составленной Н.Л.Беручашвили в масштабе 1:500 000 в географической (долгота-широта) проекции, содержащее семантическую информацию о типах, подтипах и родах ландшафтов, предоставлено WWF России. Визуальный анализ векторных контуров показал, что минимальные из них имеют линейные размеры не менее 1 км. Всего на карте для территории гор Северного Кавказа и предгорных равнин в пределах границ РФ выделены 1196 индивидуальных контуров, которые представлены 72 родами, 24 подтипами и 15 типами ландшафтов. На верхнем уровне ландшафты подразделяются на 2 класса **равнинно-предгорный и горный**. Каждый класс делится на типы ландшафтов на основе типов климата (*умеренные аридные, средиземноморские семигумидные*). Подтипы ландшафтов

выделяются на основе высотных уровней рельефа и преобладающего типа растительности (*среднегорно-лесные Колхидские, горно-котловинные степные и шибляковые Северо-Кавказские*). Наконец роды ландшафтов выделяются на основе характера и генезиса рельефа и характера растительности (*среднегорные эрозионно-денудационные, с средиземноморскими дубовыми и сосновыми лесами, степями и шибляком; предгорно-холмистые эрозионно-денудационные, с грабово-дубовыми и буково-каштановыми лесами с вечнозеленым подлеском*). Таким образом, ведущими факторами ландшафтной дифференциации при создании рассматриваемой карты являются рельеф, климат, и характер растительности. В результате, для коррекции, данной ландшафтной карты, необходимо использование информации о рельефе, климате и растительности региона, имеющей достаточную пространственную детальность и временную актуальность. Учитывая масштаб ландшафтной карты, линейные размеры минимального объекта картографирования должны составлять порядка 300-500 м.

Информация о высотах территории данного пространственного разрешения может быть получена на основе топографических карт масштаба 1:200 000 или данных спутникового сканирования поверхности земли с размерами точки около 90 м находящиеся в свободном доступе (<http://srtm.csi.cgiar.org/>).

Источником информации о климатических характеристиках могут служить интерполяционные данные (минимальные и максимальные среднемесячные многолетние температуры и осадки) для всего мира с разрешением около 1 км находящиеся в свободном доступе (<http://worldclim.org/>).

Информация о состоянии наземного покрова данного разрешения может быть получена из различных свободных источников. В данной работе были использованы продукты GeoCoverMosaic^{TM&ETM+} на основе данных съемки спутников Landsat 5 (1990+/- 3 года) и Landsat 7 (2000+/- 3 года) находящиеся в свободном доступе (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>) содержащие три спектральных канала исходных семиканальных снимков с разрешением 28.5 м для GeoCoverMosaicTM и 14.25 м для GeoCoverMosaic^{ETM+}. Данный продукт имеет высокую точность привязки плановых координат и не требует предварительной подготовки, что облегчает обработку данных. Так же использован продукт на основе съемки со спутника MODIS MOD13Q1 версий 4 и 5 (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) находящийся в свободном доступе и составленный из сцен за периоды в 16 дней, и содержащий нормализованный вегетационный индекс NDVI, вегетационный индекс VI, отражение в голубом, красном, ближнем и среднем инфракрасном каналах с разрешением около 250 м. Данный продукт использован для увеличения информации о состоянии растительного покрова, особенно для лесных территорий. Используются данные за май и сентябрь 2000 года, сентябрь 2006 года и май 2007 года (начало и конец месяца).

Для совместного анализа высотных, климатических и дистанционных данных проводится преобразование их координатных систем в проекцию дистанционной съемки продукта GeoCoverMosaic (как наиболее точной) центральную для региона Северного Кавказа UTM Zone 38 WGS84 и приведение всех данных к разрешению 228 м, кратную разрешению GeoCoverMosaic и отвечающую масштабу ландшафтной карты. Векторная ландшафтная карта, так же преобразуется в единую для всех данных проекцию. На рисунке 1 показано совмещение GeoCoverMosaicTM и преобразованного векторного покрытия. Невязка контуров с GeoCoverMosaic (точность привязки 50 м) составила порядка 400-600 м по долготе и порядка 1800-2200 м по широте. При этом невязка не постоянна для всей территории, что видимо, связано с искажениями исходной основы картографирования. Такие значения невязок могут повлиять на точность последующего анализа, но, так как центры большинства контуров не выходят за пределы соответствующих им объектов, не могут полностью исключить возможность количественного анализа карты. После преобразования проекции ландшафтной карты производится вырезка интересующей территории (Северо-Кавказский горный массив и предгорные равнины) и преобразование векторного покрытия в регулярный грид точек с разрешением 228 м.

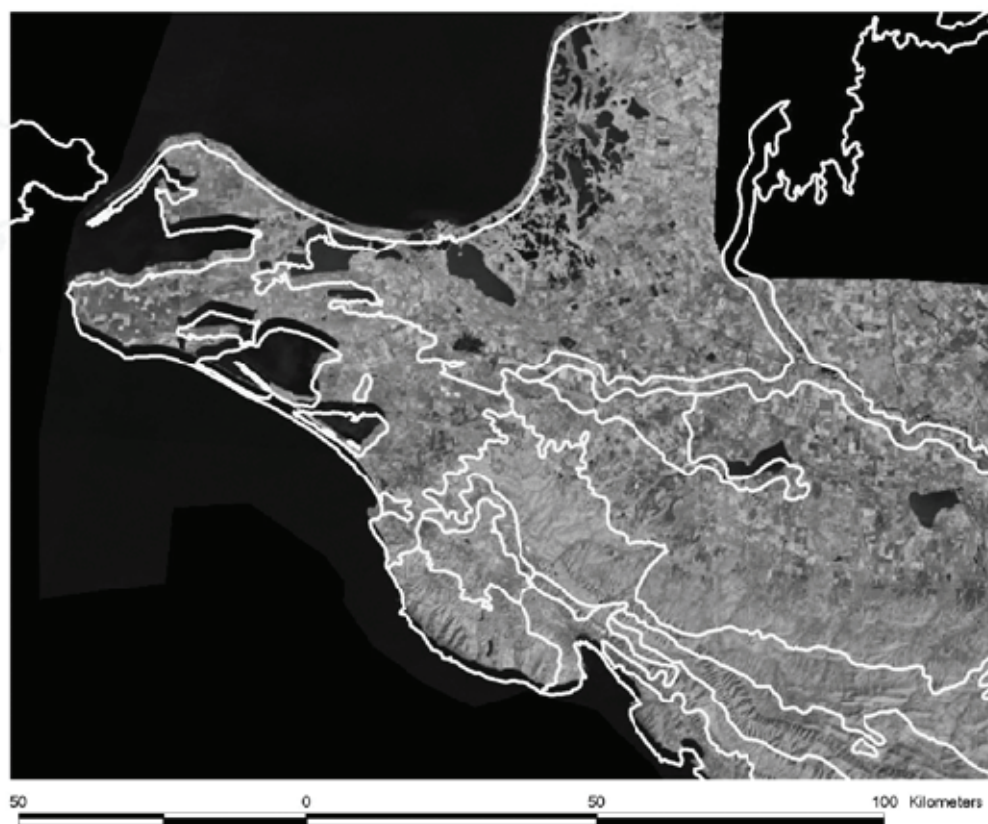


Рис. 1 Фрагмент контуров ландшафтной карты Северного Кавказа совмещенный с GeoCoverMosaicTM (белым – границы родов ландшафтов)

Для более полной характеристики рельефа территории рассчитаны уклоны и формы поверхностей для различных уровней его организации. Для этого проводится анализ иерархической организации рельефа на основе двумерного преобразования Фурье (Пузаченко, 2004).

Коррекция ландшафтной карты проводится методом канонического пошагового дискриминантного анализа (Гайдышев, 2001; StatSoft, Inc., 2001). Выбор этого метода связан как с возможностью контроля точности получаемых результатов, так и с возможностью получения осей дискриминантного анализа или виртуальных факторов, семантическое содержание которых может быть получено на основе входных переменных (Пузаченко, 2004). В результате, можно выделить области влияния на разделение классов входных переменных, таким образом, определив ведущие факторы их дифференциации.

Использование дискриминантного анализа дает возможность не только скорректировать обучающую выборку, но и классифицировать не охваченные ей территории. В данном случае в исходном векторном покрытии присутствует несколько не векторизованных контуров, которые в результате классифицируются и относятся к тому или иному роду ландшафтов. Таким образом, в контексте решаемой задачи, дискриминантный анализ может рассматриваться как «расширенный» вариант классификации с обучением, где в качестве обучающей выборки рассматриваются роды ландшафтов, а в качестве независимых переменных – информация о рельефе территории (высота, уклоны, форма), климатические (среднемесячные максимальные и минимальные температуры и осадки) и характеристики отражения территории (каналы съемки со спутников Landsat 5, Landsat 7 и MODIS, вегетационные индексы).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Так как результаты дискриминантного анализа связаны с входными переменными, рассматривались их различные наборы. Результаты дискриминации оценивались как по формальным статистическим критериям, так и визуально. При использовании всего набора переменных качество распознавания исходной ландшафтной карты составило 53 %. Ведущими переменными при разделении классов выступают высоты территории и среднемесячные многолетние климатические характеристики, а вклад дистанционных данных в распознавание составляет менее 5 %. Визуальный анализ (рис. 2) показал преобладающее выделение мелкомасштабных объектов на уровне ландшафтного районирования, особенно для равнинных территорий. Не нашли своего отражения элементы гидрографии и другие линейные объекты. В целом можно отметить упрощение ландшафтного рисунка относительно исходной карты.

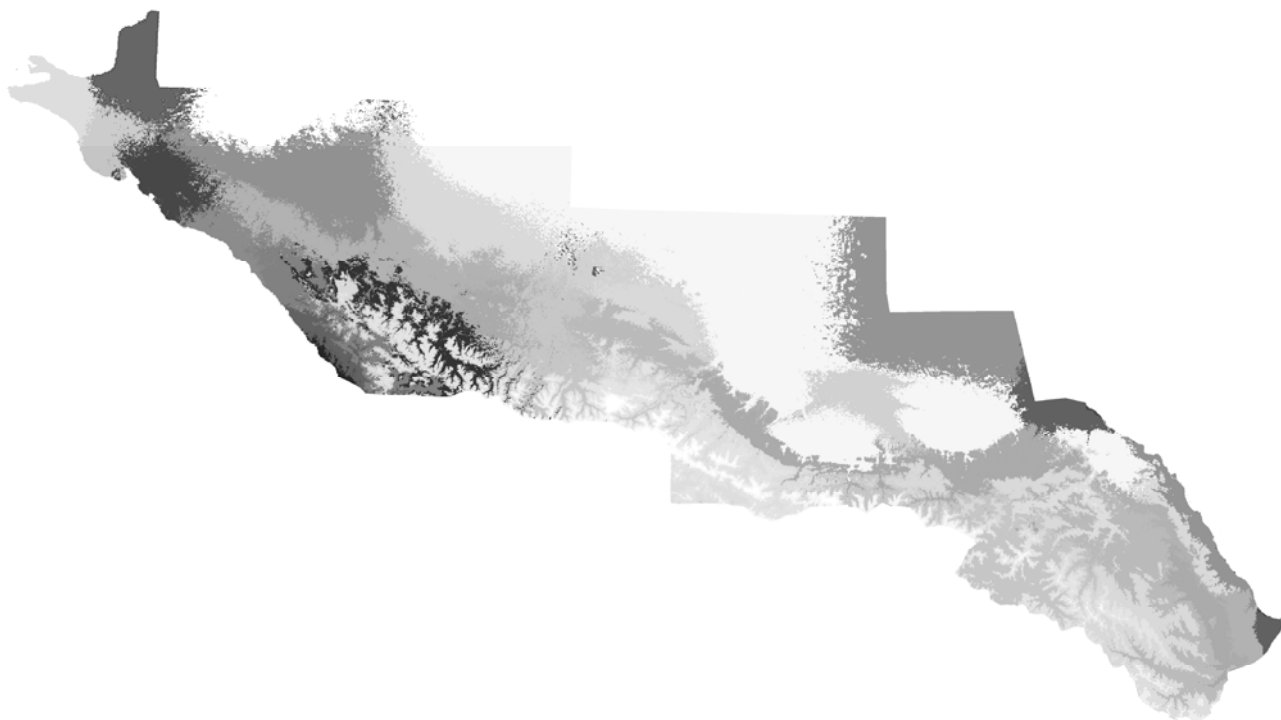


Рис. 2 Дискриминантная классификация исходной ландшафтной карты с использованием среднемесячных многолетних климатических переменных



Рис. 3 Дискриминантная классификация исходной ландшафтной карты с использованием среднегодовых многолетних климатических переменных

Для увеличения роли в разделении классов дистанционной информации, имеющей большее пространственное разнообразие, чем рельеф и, особенно, климатические характеристики, проведено осреднение климатических данных до среднегодовых значений. В этом случае качество распознавания исходных классов составило 45 % (рис. 3). Ведущими переменными при разделении классов, так же как и в предыдущем случае, являются высоты рельефа и среднегодовые многолетние климатические характеристики. Однако вклад дистанционных данных возрос до 10 %. Первые шесть осей дискриминантного анализа (рис. 4) описывают 90% варьирования исходных переменных, при этом на первую ось (рис. 4а) приходится 53% от общего варьирования. Эта ось в наибольшей степени положительно связана с высотами и уклонами территории и отрицательно - с минимальными и максимальными температурами и NDVI за май 2007 года. Вторая ось (рис. 4б), которая описывает 15% от общего варьирования исходных данных, в наибольшей степени положительно связана с количеством осадков, минимальными температурами и NDVI за сентябрь 2006 года и отрицательно со средним инфракрасным каналом за сентябрь 2000 и 2006 годов. Третья ось (рис. 4в), описывающая 13% от варьирования исходных данных, отрицательно связана с количеством осадков. Четвертая ось (рис. 4г), описывающая 5% варьирования, положительно связана с NDVI за все сроки и отрицательно с голубым и красным каналами за все сроки. Пятая ось (рис. 4д), описывающая 2.5% варьирования обучающей выборки, положительно связана с ближним инфракрасным каналом за все сроки. Шестая ось (рис. 4е) описывает 2% от общего варьирования и положительно связана с NDVI за май 2007 года и отрицательно с уклонами рельефа.

Полученная классификация имеет более высокую детальность, особенно для равнин, так же улучшилось распознавание элементов гидрографии. Из 72 родов ландшафтов представленных на исходной карте практически нераспознаны 4 - *предгорно-холмистые эрозионно-денудационные, с грабово-дубовыми лесами в комплексе с каштанниками; дельтовые и пойменные; низкогорные интрузивные, со степной лесостепной и луговой растительностью; верхнегорные эрозионно-денудационные, реже палеогляциальные, с березовыми и местами, сосновыми (из сосны кавказской и Коха) лесами и местами с низкорослым из понтийского дуба*. Для остальных родов распознавание составило более 20% при сохранении большей доли выборки в исходном классе. Для 40 родов ландшафтов распознавание составило более 50%.

Вероятность отнесения каждой точки обучающей выборки к каждому из родов ландшафтов рассчитываемая при дискриминантном анализе позволяет оценить качество скорректированной классификации. Так пространственное распределение максимальной вероятности отнесения каждой из точек обучающей выборки к родам ландшафтов отражает неопределенность скорректированной классификации (рис. 5 темный тон –

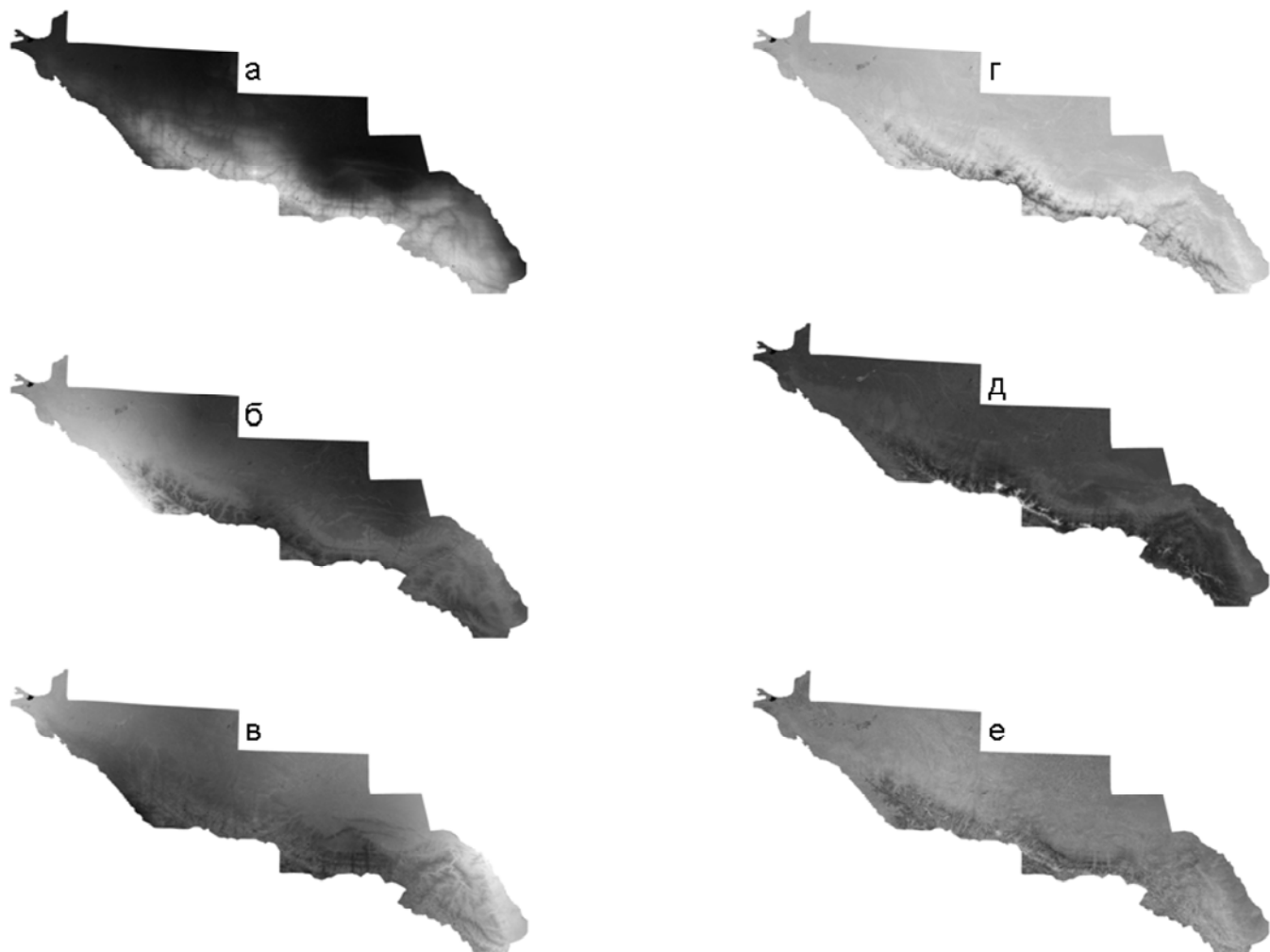


Рис. 4 Ведущие дискриминантные оси (функции) дискриминантной классификации исходной ландшафтной карты с использованием среднегодовых многолетних климатических переменных



Рис. 5 Неопределенность дискриминантной классификации исходной ландшафтной карты с использованием среднегодовых многолетних климатических переменных (темный тон – высокая неопределенность, светлый – низкая)

высокая неопределенность, светлый - низкая). Наибольшая неопределенность классификации (0.12-0.25) соответствует долинам некоторых равнинных рек и равнинным семигумидным ландшафтам. Так же высокая неопределенность классификации характерна экотонных ландшафтов предгорий и низкогорий, и горных долин. Для большей части территории неопределенность классификации составляет более 0.5, а в среднем - 0.71.

ВЫВОДЫ

Использование канонического пошагового анализа помимо актуализации ландшафтной карты позволило оценить факторы, отвечающие за ландшафтную дифференциацию и оценить качество скорректированной классификации. Так ведущими факторами ландшафтной дифференциации являются: 1) высоты рельефа (высотная поясность) и связанные с ним увеличение уклонов и уменьшение NDVI; 2) высокое количество осадков и высокая минимальная температура связанные с барьерным положением Главного Кавказского хребта (субтропические и субсредиземноморские ландшафты) и низкое количество осадков для семиаридных и аридных ландшафтов; 3) развитие и состояние растительного покрова.

Распознавание исходных родов ландшафтов, с учетом невязок контуров ландшафтной карты, в целом является достаточно высоким и статистически достоверным. Практически нераспознанные роды ландшафтов связаны с сильно трансформированными антропогенной деятельностью территориями, современное состояние растительного покрова которых не позволяет их отделить от близких по содержанию родов. Эта же причина кроется в низкой определенности классификации для равнинных семиаридных степных ландшафтов и долин рек с развитой оросительной системой. Так же отмечается уменьшение определенности классификации для экотонных ландшафтов и ландшафтов горных долин.

На конечный результат классификации оказывает значительное влияние исходное разрешение различных источников данных и их доля в обучаемой выборке. Так при использовании среднемесячных многолетних климатических данных (36 переменных) с исходным разрешением около 1 км результирующая классификация ближе к схеме районирования, где теряются многие детали ландшафтной структуры, особенно для равнинных территорий. При использовании осредненных до среднегодовых климатических данных (3 переменные) - общее качество распознавания уменьшается, однако увеличивается детальность отражения пространственной ландшафтной структуры, особенно для равнинных территорий, что связано с увеличением вклада в распознавание родов данных дистанционного зондирования.

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что на основе доступных дистанционных данных и региональной тематической картографической информации с помощью пошагово дискриминантного анализа возможна актуализация и коррекция

природных тематических карт с выявлением факторов отвечающих за пространственную дифференциацию исследуемого явления и оценкой качества и пространственной неопределенности полученных классификаций. Определение факторов дифференциации, в свою очередь, дает возможность выдвижения гипотез о механизмах их воздействия, которые не всегда являются очевидными.

Беручаивили Н.Л. 1979. Ландшафтная карта Кавказа. Тбилиси: Изд-во Тбил. ун-та.

Гайдышев И. 2001. Анализ и обработка данных. Специальный справочник. СПб.: "Питер". 752 с.

Пузаченко Ю.Г. 2004. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: АСАДЕМА. 416 с.

StatSoft, Inc. (2001). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.