

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. С. Скачкова Д. М. Курлович

**ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ
И ДИНАМИКИ ЗЕМЕЛЬ
ЗАПАДНО-БЕЛОРУССКОЙ ПРОВИНЦИИ**

(ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)

МИНСК
БГУ
2022

УДК 911.5(476-15)+528.88:631.4(476-15)

ББК 26.82(4Бей)+40.3(4Бей)

C42

Рецензенты:

доктор географических наук *В. С. Хомич*;

кандидат географических наук *С. М. Токарчук*

Скачкова, А. С.

C42 Оценка структуры и динамики земель Западно-Белорусской провинции (по данным дистанционного зондирования Земли) / А. С. Скачкова, Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2022. – 135 с. : ил. ISBN 978-985-881-363-5.

Представлены результаты исследования пространственно-временных особенностей организации земель Западно-Белорусской провинции и их влияния на трансформацию ландшафтов территории исследования за 1975–2017 гг. Описана методика автоматизированного картографирования видов земель по разновременным космическим снимкам, выявлены особенности пространственно-временной организации структуры земель Западно-Белорусской провинции, установлена основная тенденция динамических процессов в структуре земель объекта исследований, разработан комплекс мероприятий по оптимизации структуры земель для ключевого (Новогрудского) района с использованием ГИС-анализа.

УДК 911.5(476-15)+528.88:631.4(476-15)

ББК 26.82(4Бей)+40.3(4Бей)

ISBN 978-985-881-363-5

© Скачкова А. С.,

Курлович Д. М., 2022

© БГУ, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Среди многообразия природных ресурсов земля занимает особое место в хозяйственной деятельности и жизни человека. По различным оценкам, прямому антропогенному воздействию подверглось до 50 % земель мира. Согласно данным *FAO* (2017 г.), 0,6 % суши занимают застройка и искусственные поверхности иного рода, 12,6 % распашано, 13 % используется под пастбища, 27,7 % покрыто лесами, 9,5 % – кустарниковой растительностью, 1,3 % – травянистой, 0,1 % занимают мангровые сообщества, 7,7 % – разреженная растительность, 15,2 % – открытые почвы, 9,7 % постоянно покрыто снегом и ледниками, 2,6 % занято внутренними водными объектами [137]. Важнейшими землями для современного общества являются сельскохозяйственные и лесные: их состояние напрямую влияет на качество жизни населения. Площадь сельскохозяйственных земель с 1990 по 2017 г. увеличилась на 35 млн га, за это время также было потеряно 129 млн га лесных земель, большая часть – в тропических экосистемах. С 2000 г. присутствует устойчивая тенденция прироста пахотных и убыли луговых земель. Однако европейский тренд обратный: прирост лесов (19,6 млн га в Европе в целом и 9 млн га в Восточной Европе) и убыль сельскохозяйственных земель (32 млн га в Европе в целом и 15 млн га в Восточной Европе; главные регионы убыли – Польша, Литва). Кроме того, по Европе в целом масштабы убыли пашни выше, чем луговых земель, а в Восточной и Центральной Европе наблюдается их прирост (Польша, Чехия, Словакия). В Европе также обозначена тенденция к сохранению площадей обрабатываемых земель при увеличении интенсивности их использования (проявляется в росте урожайности) на западе и уменьшении площадей и интенсивности их использования на востоке. Важнейшими драйверами изменений называют агроэкологические (уменьшение увлажнения) и социально-экономические (сокращение трудовых ресурсов, ограниченный доступ к рынкам сбыта, снижение доходности традиционного сельского хозяйства) причины, а главное – смещение главных центров сельскохозяйственного производства за пределы Европы [144]. Отмечается и крайняя гетерогенность происходящих преобразований.

В структуре земель Беларуси наибольшая доля приходится на лесные (42 % – 8,8 млн га) и сельскохозяйственные (40 % – 8,4 млн га, из них 28 % – 5,7 млн га пахотные, 12 % – 2,6 млн га луговые) земли.

Искусственные поверхности занимают в сумме 4 % – 900 тыс. га [90]. На территории Беларуси за 1990–2017 гг. площадь сельскохозяйственных земель уменьшилась на 887 тыс. га, практически в равной степени за счет пахотных (420 тыс. га) и луговых (467 тыс. га), а площадь лесных земель выросла на 755 тыс. га. Таким образом, динамика структуры земель Беларуси не совпадает с общемировым трендом, но соответствует региональным – европейскому и, в частности, восточноевропейскому. Площадь обрабатываемых земель на жителя страны составляет 0,89 га, пахотных – 0,60 га, что почти втрое выше среднемирового показателя. При этом пашня не является доминирующим видом использования земель на уровне страны. Вместе с тем в Беларуси прослеживаются и типично европейские тренды деградации земель: продолжается снижение доли мелиорированных земель на торфяно-болотных почвах, незначительно сокращаются площади эродированных земель. Деградация земель вносит вклад в изменение климата, высвобождая органический углерод, который мог быть запасен в почве и растительности.

Основным источником данных о структуре земель для большинства стран остается государственная статистика, тем не менее большой вклад в понимание современной структуры земель и ее динамики внесли данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С началом их применения информация о структуре земель больше не ограничивается национальным уровнем, возможна унификация легенд и пространственного разрешения карт землепользования по всему миру. Данные ДЗЗ обеспечивают учет и оценку состояния земель на основе объективных критериев, позволяют выполнять ретроспективные исследования, осуществлять мониторинг земель на всех масштабных уровнях по единым методикам. Немаловажное значение имеет и то обстоятельство, что скорость обновления и обработки информации намного опережает наземные обследования. Кроме того, данные ДЗЗ позволяют решать прикладные задачи: выполнять оценку антропогенного воздействия на окружающую среду, прогнозировать динамику процессов и, наконец, управлять землепользованием и оптимизировать его.

Актуальность исследования определяется несколькими факторами. Во-первых, потребностью в изучении трендов динамики структуры земель не только на национальном, но и на региональном и локальном уровнях. Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016–2020 гг. отмечает необходимость постоянной актуализации кадастров

природных ресурсов, в том числе земельного. Однако сложившаяся система учета структуры земель такова, что она в полной мере отражает изменение структуры земель между категориями и землепользователями, но естественная динамика структуры земель может ускользать от статистики. Кроме того, за счет агрегации всех данных на уровне административного района, области и страны теряется информация о пространственной приуроченности происходящих изменений в структуре земель. Во-вторых, существует необходимость в расширении сферы применения данных ДЗЗ в Республике Беларусь. Потенциальные возможности материалов дистанционных съемок хорошо изучены и продемонстрированы как на тестовых участках, так и в глобальных проектах. В Беларуси данные ДЗЗ могут восполнить недостаток оперативной и ретроспективной информации о структуре и динамике земель, стать основой для крупномасштабного пространственного анализа и прогноза структуры земель, а в итоге – помочь в выработке сценариев рационального и эффективного природопользования.

Таким образом, авторы ставят перед собой цель оценить пространственно-временную структуру и динамику структуры земель по данным ДЗЗ, выявить их влияние на трансформацию ландшафтов Западно-Белорусской физико-географической провинции до 2025 г. В качестве предмета исследования принята пространственно-временная динамика структуры земель как основной фактор оценки и разработки краткосрочных прогнозов по изменению их структуры. Под структурой земель понимается их дифференциация по видам, выделяемым по природно-историческим признакам, состоянию и характеру использования (в соответствии с Кодексом Республики Беларусь о земле): пахотные, луговые, лесные земли и земли под древесно-кустарниковой растительностью (ДКР), болотами, водными объектами, застройкой, земли общего пользования, под дорогами и иными транспортными коммуникациями, – и агрегированным для удобства их распознавания, по данным ДЗЗ. Динамика структуры земель рассматривается как трансформация видов земель в течение определенного времени. Период исследования (1975–2017 гг.) обусловлен доступностью материалов космических съемок для территории исследования.

Научная значимость книги заключается в разработанной методике автоматизированного картографирования земель по данным ДЗЗ, позволяющая последовательно распознавать группы видов земель по разновременным космическим снимкам среднего простран-

ственного разрешения и другим открытым источникам картографических данных на основе комплекса их спектрально-временных характеристик. Данную методику возможно использовать для любой территории на основе аналогичных исходных данных. Научный интерес представляют полученные результаты пространственно-временной динамики структуры земель Западно-Белорусской провинции за 1975–2017 гг., указывающие на характер (направления) трансформации и пространственную неоднородность динамики структуры земель (выявлено шесть стабильных и пять динамичных типов динамики), а также прогнозный сценарий динамики структуры земель провинции на 2025 г.

Разработанная методика автоматизированного картографирования земель по данным ДЗЗ может быть использована для оперативного обнаружения, учета изменений и характера использования земель, а также является инновационным инструментом для принятия своевременных решений по эффективному управлению земельными ресурсами. Предлагаемые мероприятия по оптимизации структуры земель административного района могут найти применение при планировании в их пределах различных сценариев землепользования с учетом выделения в соответствии с методикой автора вероятных трансформаций в использовании земель.

1

СОСТОЯНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ЗЕМЕЛЬ ЗАПАДНО-БЕЛОРУССКОЙ ПРОВИНЦИИ

1.1

Изученность проблемы оценки структуры и динамики земель

Специфическая черта земли как природного ресурса – ее многофункциональность. С одной стороны, земля является местом обитания человека, пространственным базисом для размещения отраслей хозяйственного комплекса, поселений, инфраструктуры, а для сельского и лесного хозяйства – средством производства и предметом приложения труда [82]. В таком понимании она, выполняя определенное функциональное назначение, выступает объектом земельно-правовых отношений. Последние регулируются земельным законодательством, которым устанавливаются формы собственности на землю, перечень и содержание категорий, видов земель, система управления земельными ресурсами, назначение кадастра и мониторинга земель, налоговое регулирование, землепользование, регистрация и оценка земель как объектов недвижимости [118]. С другой стороны, земля – естественно-историческое природное образование, свойства и разнообразие которого во многом предопределяются зонально-провинциальными, региональными и локальными особенностями географической среды. В этом смысле земля часто рассматривается как синоним почвы, а земельные ресурсы отождествляются с почвенными. Однако многоцелевой характер использования и ряд специфических особенностей земли (набор угодий, территориальная структурированность, конфигурация, объект недвижимости, стоимость и др.) не позволяют приравнять их друг к другу. Почву и землю следует рассматривать как частное и целое [118].

Необходимость сбора сведений о структуре, местонахождении и качестве угодий появилась у человека, как только земля стала средством пропитания. Развитие земледелия и скотоводства требовало учета земель по характеру их использования (пашня, пастбище). Дальнейшее развитие общественных отношений потребовало дифференциации земель по качеству, поскольку за пользование землей предполагалось брать налог. Документы, свидетельствующие о распределении земель по землепользователям, видам и качеству, обнаруживаются в Древнем Египте, Китае, Греции и Риме.

В средневековой Западной Европе известен ряд переписей и кадастров земель: «Книга Страшного суда» Вильгельма I Завоевателя, английская перепись при Эдуарде I (1272–1307 гг.), датская перепись при Вольдемаре II (1231 г.), сицилийский кадастр Фридриха II (1192–1250 гг.), кадастр Калабрии (1327 г.), поземельная книга курфюршества Бранденбург (1375 г.), миланский кадастр [37].

На территории Беларуси первыми широко известными работами, связанными с учетом земель, являются волочные померы во время аграрной реформы Сигизмунда II, так называемые «Уставы на валокі» 1550–1650-х гг. После вхождения белорусских земель в состав Российской империи на них регулярно проводилась люстрация, а в 1790–1810-х гг. – генеральное межевание [37]. На основе земельного кадастра, выполнявшегося в 1830–1840-х гг., К. С. Веселовским была составлена карта почв европейской части России [30]. В 1917 г. в соответствии с Декретом о земле все угодья перешли в государственную собственность. Согласно Декрету «О социализации земли», все земельные дела возлагались на земельные отделы местных советов (единых указаний по учету земель не было, поэтому вопрос решался на местах). В БССР уже в начале 1920-х гг. стали проводить подготовительные работы по инвентаризации земель, которые сводились к учету количества и качества земель. Ежегодно составлялся отчет о распределении земель по угодьям и землепользователям (земельный баланс). С целью проведения в Беларуси земельной реформы в 1991 г. был создан Комитет по земельной реформе и землеустройству при Совете Министров Республики Беларусь. В 1997 г. произошло объединение землеустроительной и картографо-геодезической служб, и был создан Государственный комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь (в настоящее время – Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь). До сих пор именно эта организация ответственна за формирование сведений о структуре земель Беларуси.

Сегодня основными источниками данных о структуре земель как основного природного ресурса являются Государственный земельный кадастр (ГЗК) и Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь. Последний содержит сведения о распределении земель по категориям, видам и землепользователям, о составе, структуре, состоянии, качестве и хозяйственном использовании земель, иные сведения о них [33; 40]. Порядок сбора информации о распределении, структуре и состоянии земель страны имеет иерархический характер: сведения о распределении земель на постоянной основе обновляются районными землеустроительными службами, далее в агрегированном виде раз в год передаются в областные службы, и на республиканском уровне собираются РУП «Проектный институт «Белгипрозем». Вид, в котором данные передаются между этими уровнями, – отчет о наличии и распределении земель (форма 22-зем). Это закреплённая форма ведомственной отчетности, содержащая сведения о наличии и распределении земель по их видам, категориям и категориям землепользователей, формам собственности и видам прав на землю в разрезе административно-территориальных единиц [66]. Внести изменения в существующую статистику районная землеустроительная служба может на основе решений местных исполнительных комитетов. Возможно внесение ею изменений и в дежурную карту района (в бумажном виде) при ее наличии, однако часто подобный документ быстро устаревает. Как следствие, регулярно публикуемые данные Реестра [90] упускают важный аспект динамики структуры земель – пространственный, т. е. не дают представления о местоположении произошедших изменений.

Параллельно РУП «Проектный институт «Белгипрозем» осуществляет ведение земельно-информационной системы Республики Беларусь (ЗИС) – комплекса программно-технических средств, баз пространственно-атрибутивных данных, каналов информационного обмена и других ресурсов, обеспечивающего автоматизацию накопления, обработки, хранения и предоставления сведений о состоянии, распределении и использовании земельных ресурсов в электронном виде, в том числе средствами геоинформационных технологий [40]. Наряду с другой информацией в ЗИС содержится слой, отражающий сведения о распределении земель по видам, типам и подтипам, – *Land* [33]. На данный момент завершено создание ЗИС для всех административных районов Беларуси, для доступа к ней создан геопортал [15], ведется пятилетний цикл обновления данных [13]. Однако за 5 лет накапливается достаточно большое ко-

личество трансформаций на местности, что приводит к значительному объему работ, связанных с обновлением ЗИС, в том числе с поиском на материалах аэрофотосъемки изменений, произошедших за это время.

Современная структура земель Беларуси всесторонне проанализирована в работах А. С. Помелова, Е. С. Ольшевской [80–83]: рассмотрены системы классификации (структурирования) земельных ресурсов, показаны закономерности пространственной организации и динамики структуры земель, выявлены факторы, воздействующие на сложившуюся структуру землепользования, а также влиявшие на ее динамику в недавнем прошлом, выполнен прогноз будущей структуры земель. Несмотря на то, что земли рассматриваются этими авторами с земельно-правовой точки зрения, уровень анализа и обобщения материалов стоит считать географическим. Источником информации о структуре земель в обозначенных работах послужили данные ГЗК на уровнях от республиканского до районного, в некоторых случаях применялся анализ исторических рядов данных с середины XX в. Однако А. С. Помелов и Е. С. Ольшевская отмечают и недостатки используемых исходных данных. Специфической чертой учета земельных ресурсов является то, что значительные изменения фиксируются только во время масштабных единовременных работ: при создании ЗИС, проведении инвентаризации земель, специальных обследований. Между такими моментами преобразования площадей незначительны, так как при ведении текущего учета земель фиксируются только факты их перераспределения между категориями и землепользователями. За это время происходит накопление качественного изменения земель вследствие протекания естественных природных и антропогенных процессов, приводящее к изменению площади в первую очередь сельскохозяйственных земель при очередном обследовании [70]. Анализируя направления улучшения информационного обеспечения ГЗК, А. С. Помелов указывает, что данные ДЗЗ должны иметь больший вес при ведении кадастра, поскольку превосходят все иные материалы по оперативности и информационной насыщенности [81]. На основе данных ГЗК исследования выполнялись другими авторами: Е. А. Коноплевым для Беларуси в целом, Г. И. Пиловец – для Витебской области, А. О. Прикотой – для Гомельской [42; 77; 86]. При этом Г. И. Пиловец были привлечены данные ДЗЗ, которые помогли указать на ошибки в ГЗК, связанные с его несвоевременным обновлением.

Структура земель Беларуси попадала и в поле зрения зарубежных ученых. Показательны исследования площадей заброшенных сельскохозяйственных земель на постсоветском пространстве, выполненные под руководством А. В. Прищепова [131; 156; 171; 172]. Основываясь на анализе результатов картографирования структуры земель по данным спутников *Landsat* и *Sentinel*, авторы этих работ подтверждают свою гипотезу о смене экономического уклада как основного фактора, влияющего на характер сельскохозяйственного землепользования. Для территории Беларуси обнаруживается тренд увеличения заброшенных сельскохозяйственных земель с юга на север страны [171; 172]. Можно отметить меньшие масштабы деградации сельскохозяйственных земель в Беларуси по сравнению с граничащими регионами России. Данные исследования демонстрируют большой потенциал данных ДЗЗ как независимого, регулярно обновляемого источника информации о структуре земель.

Однако структура земель как таковая не является распространенным объектом исследования в сфере физико-географических наук. Часто структура и динамика структуры земель выступают в качестве классификационного или диагностического признака для оценки состояния изучаемых геосистем. Наибольшее распространение среди исследований земельных ресурсов получили различные направления их оценки: комплексное, геоэкологическое, экономическое, ресурсного потенциала [7; 16; 22; 51; 94]. Поскольку эти исследования, как и любые географические, привязаны к конкретной территории, можно говорить о формировании региональных школ оценки почвенно-земельных ресурсов.

В сельском хозяйстве земля имеет исключительное значение. В основе большинства оценок природно-ресурсного потенциала земель для сельского хозяйства лежит идея о выраженной пространственной неоднородности их свойств и главного их компонента – почвы. Эта неоднородность определяется природными факторами и отражается на размещении, территориальной концентрации, специализации, эффективности и экологической безопасности аграрного производства [118; 119]. Различают земельные, пространственные и почвенно-земельные ресурсы, и если земельные и пространственные характеризуются площадью территории, то почвенно-земельные – это ресурсы сельскохозяйственных угодий с учетом их плодородия [71; 93]. Следовательно, оценку агроресурсного потенциала следует считать комплексной. К этому направлению можно отнести исследования В. М. Яцухно [117; 119; 120]. На базе струк-

туры видов сельскохозяйственных земель, численности населения, занятого в сельскохозяйственном производстве, и других параметров была изучена дифференциация административных районов Беларуси по обеспеченности агропроизводственными ресурсами, а также выработаны предложения по территориальному совершенствованию аграрного землепользования. Данные исследования демонстрируют тот факт, что структура земель выступает важным параметром оценки и оптимизации аграрного природопользования.

Земли в лесном хозяйстве рассматриваются как основное условие существования отрасли и главное средство производства. Для лесного хозяйства важны физико-географические факторы: рельеф, климат, почвенный покров, местоположение. Однако качественная оценка земель для лесного хозяйства не проводится. Можно выделить работу А. Д. Янушко [116], связанную с комплексной эколого-экономической оценкой и районированием территории Беларуси для рационализации лесного хозяйства. Наряду с другими показателями автором использовано распределение лесного фонда по почвенно-типологическим группам и группам лесов. Сделаны наблюдения о том, что на фоне общего прироста земель лесного фонда (с 5292 тыс. га в 1950 г. до 6758 тыс. га в 1988 г.), с одной стороны, фиксировалось снижение мелкоконтурности лесных массивов, а с другой – был замечен прирост земель особого назначения (дороги, просеки, газопроводы) в их пределах.

Однако наибольшее сходство земля по строению и выполняемым функциям имеет с ландшафтом. Это проявляется не только в их общности как природного образования, но и в единстве конкретной территории, однородной по своему происхождению и истории развития. Как природное образование наряду с почвенными характеристиками земля включает свойства рельефа, пространственные параметры, особенности сообществ живых организмов (биоценозов), климатические условия [118]. При данном рассмотрении такой компонент природной среды, как земля, становится объектом изучения физической географии, и к ней возможно применение ее методологического аппарата.

В основу антропогенного ландшафтоведения, заложенного научной школой Ф. Н. Милькова, легла идея о том, что способы и приемы хозяйственного воздействия, их проявления, глубина и площадь распространения зависят от сочетания двух факторов: природных свойств ландшафта и интенсивности вида природопользования. Природно-антропогенные ландшафты (ПАЛ) представляют собой комплексы, сформировавшиеся в результате целенаправленного ис-

пользования ресурсов природного ландшафта в определенных видах хозяйственной деятельности. Специфической чертой и классификационным признаком ПАЛ является характер хозяйственного использования, который территориально проявляется как разнообразие структуры земельных угодий. Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастной, Н. К. Клицуновой были изучены ПАЛ Беларуси, выполнена их классификация и районирование [52; 87; 102]. Более подробно рассмотрена Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастной структура ПАЛ Полесья [2; 57], проведено районирование территории по степени антропогенной трансформации. Н. В. Гагина, В. А. Бакарасов сделали оценку степени трансформации земель ландшафтов Поозерья [3; 10]. Таким образом, информация о структуре земель, преломляясь в ПАЛ, позволяет выявить региональные закономерности в освоении природной среды на основе ландшафтного подхода. Базисом данного подхода служит сходство факторов дифференциации земель и ландшафтов региона, что определяет их высокую степень соответствия между собой [10].

Дальнейшим развитием природно-антропогенного направления можно считать формализацию степени антропогенной трансформации в метриках (коэффициентах). Они используются В. С. Аношко (коэффициент мелиоративной преобразованности) [1], А. С. Соколовым (коэффициент естественной защищенности; геоэкологический коэффициент) [98], П. Г. Шищенко (коэффициент антропогенной преобразованности) [110], А. Ф. Чернышом (коэффициент экологической стабильности территории) [23; 109] для численного выражения изменения ландшафта человеком.

Итогом любой оценки является разработка рекомендаций, направленных на улучшение пространственной организации территории. Продолжением оценки выступает выработка алгоритмов рационализации землепользования [11; 17; 32; 39; 78; 85; 121; 178]. Для сельскохозяйственных земель Беларуси такие работы были выполнены А. Ф. Чернышом. Посредством структурирования и анализа сложившегося землепользования он показал необходимость внедрения ландшафтно-адаптивных подходов к земледелию [23; 103; 109].

Комплексным подходом к рационализации землепользования отличается работа Л. Н. Гилевой [16]: на основе всесторонней оценки природно-ресурсного потенциала, включающего структуру земельного фонда, для Пурского района Ямало-Ненецкого автономного округа выполнено эколого-хозяйственное зонирование и обоснованы принципы рационального землепользования в пределах каждой зоны. Интересно обращение автора к каркасной модели структури-

зации территории для реализации возможности объединения природных и хозяйственных элементов в одну спланированную систему.

Для оптимизации структуры земель Полесья Е. Я. Гарцуевой и А. Н. Черванем выбран другой подход [11; 107], называемый ими геосистемным. На базе крупномасштабного, в том числе наземного, исследования ландшафтной структуры региона на уровне фаций и собранной базы геоданных были составлены карты предпочтительного использования земель для интенсификации сельскохозяйственного использования почвенно-растительных ресурсов естественных луговых земель.

Индикатором антропогенной трансформации может выступать не только соотношение площадей видов земель исследуемой территории, но и конфигурация земельных участков, являясь свидетельством фрагментации (дробления) землепользования, чаще всего в результате антропогенного воздействия. В данном случае для анализа используются картометрические индексы, рассчитанные по тематическим картам и характеризующим пригодность ландшафта для поддержания жизнедеятельности диких видов животных и растений. Основная идея использования метрик базируется на том, что рисунок (структура) ландшафта определяется процессами, происходящими в нем. Именно поэтому метрики, оценивающие в первую очередь структуру, характеризуют и происходящие в ландшафте процессы и могут быть использованы для обнаружения и мониторинга экологических изменений [53; 88; 145; 153; 152; 176; 177; 179]. Анализ ландшафтных метрик классифицируется как картографо-математический метод.

Существует два подхода к расчету ландшафтных метрик. Один из них основан на качественном и количественном анализе ландшафтной структуры территории по ландшафтным картам. К преимуществам данного подхода следует отнести высокую достоверность и подробность исходных материалов, позволяющих проводить крупномасштабные исследования, к недостаткам – сложность сбора исходных данных, длительные интервалы обновления. Для территории Беларуси такие исследования были выполнены Г. И. Марцинкевич и И. И. Счастной. Они произвели оценку разнообразия ландшафтов на морфологическом (вариабельность фаций и урочищ внутри ландшафта) и таксономическом (вариабельность видов внутри рода ландшафтов) уровнях [9; 56]. Интересно развитие этой идеи в работах А. П. Гусева [20; 21]. Для исследования динамики землепользования он применил анализ временных серий ландшафтных индексов,

свидетельствующих об изменении степени антропогенной трансформации ландшафтов.

Второй подход основан на использовании материалов ДЗЗ, преимущественно космических снимков. Нужно отметить, что вопреки методике, предложенной Ю. Г. Пузаченко [45; 88; 89], распространение получил не анализ исходного изображения, а расчет ландшафтных метрик по тематическим продуктам – результатам обработки ДЗЗ (например, карт видов земель или растительных сообществ). К преимуществам данного подхода следует отнести высокую скорость обновления материалов, обусловленную периодичностью съемки и автоматизацией обработки космических снимков, к недостаткам – ограниченное распознавание различных объектов на земной поверхности.

В мировой практике ландшафтные метрики используются для пространственного планирования экологических сетей. С их помощью выполняется анализ фрагментации, разнообразия, сохранности природных систем, направленный на оценку территории с точки зрения пригодности для мест обитания и коридоров миграции видов [21; 53; 84; 166; 176]. Идея экологической сети восходит к концепции каркаса Б. Б. Родомана, который, опираясь на работы В. Кристаллера, на основе своих наблюдений в московском регионе и смежных областях центра Русской равнины сформулировал теоретическое представление о поляризованном ландшафте как об универсальном механизме пространственной сегрегации урбанизированных и охраняемых природных территорий с целью сохранения биоразнообразия и рекреационных ресурсов. Экологическая сеть подразумевает пространственную организацию природоохранной деятельности, тогда как экологический каркас является более объемным понятием, включающим в себя также способы управления природопользованием [84]. При планировании особо охраняемых природных территорий (ООПТ) значительное внимание уделяется естественным ландшафтам, которые должны доминировать в пределах рассматриваемого участка. Однако не меньшую роль играют сопутствующие ландшафты: значительные по площади гомогенные охраняемые территории, представляющие традиционные виды использования земель, должны сопровождаться меньшими контурами, и наоборот, в соответствии с концепцией дифференцированного землепользования в пределах каждого отдельно взятого участка территории интенсивное, опасное для окружающей среды землепользование не должно составлять 100 %, но содержать 10–15 % средостабилизиру-

ющих земель [99]. При этом территории, занятые природными комплексами, должны составлять сеть, а не отдельные острова [76; 83]. Работы по созданию и развитию экологической сети Беларуси выполнялись Н. А. Юргенсон и Е. В. Шушковой [112–114], однако опыт использования ландшафтных метрик в этом направлении в нашей стране развития не получил.

Структура земель как результат взаимодействия природной и антропогенной составляющих не является неподвижной во времени. Ф. Н. Мильков указывает на высокую динамичность ПАЛ в качестве итога вмешательства человека в их структуру [58]. Б. В. Виноградов выделил четыре типа динамичных систем на основе характера антропогенного воздействия, скорости трансформации экосистем [8]: стабильные – коренные или условно коренные ландшафты; относительно устойчивые сельскохозяйственные, пастбищные и лесохозяйственные системы; динамические экосистемы – интенсивно осваиваемые, мелиорированные ландшафты, с широким развитием воздушной и водной эрозии; переходные экосистемы с сильным антропогенным или катастрофическим экзогенным воздействием. Именно поэтому органичным продолжением исследования структуры земель ПАЛ выступает исследование ее динамики [62], но для территории Беларуси такие работы малочисленны. В основном анализируются данные государственной статистики [42; 70; 81], проводятся наблюдения за динамикой естественных экосистем в ООПТ [59; 63], лесами [34].

В то же время зарубежные ученые посвятили много работ как теоретическим, так и практическим аспектам анализа динамики структуры земель. В ряде исследований показан большой потенциал данных ДЗЗ для обнаружения изменений в наземных экосистемах за счет регулярно повторяющихся наблюдений [31; 133; 138; 165]. Отмечается, что космические снимки способны отразить все происходящие на местности изменения, однако не все из них имеют ценность для исследований. В связи с этим важно определить вид динамики, который соответствует задачам исследования, и выбрать правильный способ их выделения. Труды практической направленности посвящены разработкам моделей динамики структуры земель [129; 138; 140; 174; 175] и подготовке картографических продуктов [128; 132; 148; 156; 163], отражающих эту динамику, анализу обнаруженных изменений [131; 135; 122]. Среди них интересен продукт *Global Forest Cover Change* [129; 143; 163] – карта убыли и прироста лесов за 2000–2015 гг. на весь земной шар, созданная на основе многолетних на-

блюдений *Landsat*. Эти материалы позволяют анализировать динамику структуры лесных экосистем на различных масштабных уровнях (от глобального до локального) на протяжении многих лет. Согласно этим данным, общая площадь лесов Беларуси в 2000 г. составляла 9,3 млн га, или 44 % площади страны, что совпадает с данными государственной статистики. Однако с 2016 г. увеличились темпы потери лесов (более 75 тыс. га ежегодно против 25 тыс. га до 2016 г.). С. Г. Мышляковым на основе данных ДЗЗ выполнено исследование объемов неиспользуемой пашни в Калужской области (в некоторых районах до 80 %), в результате чего удалось повысить поступления в бюджет за счет оптимизации налогообложения [60]. Значительное исследование масштабов забрасывания бывших сельскохозяйственных земель на территории России, проведенное *Greenpeace*, также выполнено с использованием данных ДЗЗ, показавшее, что площади заброшенных сельскохозяйственных земель достигают 22–24 % [156].

Структуру и динамику земель можно рассматривать как результат сложившегося в регионе взаимодействия между природной основой и хозяйственной деятельностью человека, а значит, и индикатором интенсивности и направленности этой деятельности. Именно поэтому изучение территории с точки зрения структуры земель и ее изменения во времени является физико-географической задачей. Основными направлениями применения данных о структуре и динамике земель следует считать: пространственный анализ структуры земель как признака антропогенной трансформации геосистем с использованием картографических и картометрических методов; историко-географический анализ рядов данных, составление прогноза будущей структуры земель на их основе для выработки сценариев рационального и эффективного природопользования. Выполненный обзор указывает на то, что структура земель Западно-Белорусской физико-географической провинции еще не была предметом географического исследования, а также что до сих пор был упущен физико-географический аспект в динамике структуры земель. Это может быть объяснено недостатками используемых исходных материалов. Так, средне- и крупномасштабные топографические и тематические карты не только не содержат в явном виде информации о землепользовании, но и быстро устаревают и редко обновляются. Данные государственной статистики в виде Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь содержат только агрегированную по административно-территориальным единицам информацию о структуре земель, хотя и обновляются ежегодно. Ввиду отсутствия источника

данных для анализа структуры и динамики земель представляется рациональным самостоятельное формирование карт видов земель на основе данных ДЗЗ.

1.2

Западно-Белорусская провинция как объект физико-географического исследования

Границы Западно-Белорусской провинции как отдельного физико-географического образования впервые были обозначены В. А. Деметьевым [25], а позже уточнены О. Ф. Якушко [27]. Последний вариант районирования, который вошел в Национальный атлас Республики Беларусь [61], принадлежит Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастной, Н. К. Клицуновой и О. Ф. Якушко [55] (в соответствии с ним также приняты границы провинции в данной книге).

Доминирующим фактором при проведении границ Западно-Белорусской провинции являлись орографические рубежи: с севера она ограничена зоной распространения ледниковых отложений поозерского возраста, с юга – водно-ледниковыми равнинами, сформированными во время отступления сожского ледника. Территория исследования занимает почти пятую часть площади страны и охватывает систему возвышенностей Белорусской гряды с высотой от 200 до 345 м, ее южная граница практически совпадает с изогипсой 200 м [105]. Провинция включает 3 округа и 14 районов. В Центральный округ входят Вилейская низина, Ошмянская и Минская возвышенности, Верхнеберезинская низина и Борисовская возвышенная равнина. Понемонье более равнинное и включает Средне- и Верхне-неманские низины, Лидскую и Столбцовскую равнины. Юго-Западный округ так же, как и Центральный, состоит в основном из возвышенностей: Гродненская, Волковысская, Новогрудская и Слонимская возвышенные равнины, Копыльская гряда.

В тектоническом отношении Западно-Белорусская провинция приурочена к положительным структурам кристаллического фундамента: Белорусской антеклизе с Центрально-Белорусским массивом и Вилейским погребенным выступом, в то время как северо-запад провинции соответствует Оршанской впадине. Породы фундамента перекрыты осадочными породами девона, мела, палеогена, неогена и четвертичного периода. Последние имеют мощность от 100

до 240 м и представлены ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями [61].

Рельеф провинции характеризуется унаследованностью по отношению к строению кристаллического фундамента. Главную роль в его формировании сыграло Сожское оледенение. Возвышенности провинции отличаются типично выраженными грядово-холмистым и крупно-холмисто-увалистым рельефами краевых ледниковых образований [27]. Наиболее заметной орографической особенностью Западно-Белорусской провинции является система возвышенностей Белорусской гряды, дугообразно вытянутых с юго-запада на северо-восток. В пределах возвышенностей расположены максимальные высоты Беларуси, превышающие 300 м над уровнем моря. Возвышенности окружают Неманскую низменность с минимальной отметкой в 80 м над уровнем моря и Лидскую моренную равнину. Возвышенности имеют монолитный характер со сполженными вершинами, крутыми склонами, расчлененными речными долинами. Относительные превышения здесь достигают нескольких десятков метров, вертикальное расчленение превышает 40 м/км². Долины рек хорошо разработаны, террасированы. Они разделяют возвышенности на морфологические участки, особенно в местах многочисленных сквозных долин и близкого соприкосновения верховьев рек разных бассейнов. Долины рек, дренирующих равнинные территории, характеризуются значительной шириной пойм и террас, создающих вытянутые полосы аллювиальных отложений.

Наиболее активные современные геоморфологические процессы на территории провинции – линейная и плоскостная эрозия (охватывает возвышенности Центрально-Белорусской гряды), суффозионные проседания в местах распространения лёссовидных отложений (Новогрудская и Минская возвышенности), гравитационные процессы в долинах рек [61].

Согласно схеме геоморфологического районирования [27; 61], рассматриваемая провинция соответствует Западно-Белорусской под-области области Центрально-Белорусских возвышенностей и гряд, включает Гродненскую, Минскую, Новогрудскую, Волковысскую, Слонимскую краевые ледниковые возвышенности, Неманскую низменность, Лидскую, Столбцовскую, Кривичскую моренные равнины, Вороновскую водно-ледниковую равнину, Ошмянские, Копыльские краевые ледниковые гряды. Многочисленные впадины заняты остаточными котловинами, заполненными сапропелем и торфом.

На участках близкого расположения карбонатных пород встречаются карстовые и сульфатные озера [27].

Вследствие значительной протяженности с юго-запада на северо-восток климатические параметры по провинции существенно изменяются, но большинство из них сохраняют тенденцию к преобразованию в таком же направлении. Так, годовой радиационный баланс снижается с 1700 до 1500 МДж/м², при этом самые высокие значения приходятся не только на южную границу провинции, но и на Новогрудскую возвышенность и Копыльскую гряду. Средние годовые температуры января изменяются от –5 до –7 °С. Средние температуры июня более однородны и составляют +17 °С. Суммарное годовое количество осадков определяется в первую очередь орографией и превышает 750 мм на Новогрудской возвышенности. Агроклиматические характеристики имеют более выраженные широтные закономерности. Суммы активных температур выше 5 °С растут с 2500 °С на севере до 2800 °С на юге, что определяет расположение провинции в двух агроклиматических областях: северной (характеризуется умеренно холодной зимой с устойчивым снеговым покровом, умеренно теплым вегетационным периодом и устойчивым увлажнением) и центральной (умеренная, с частыми оттепелями зима, теплый вегетационный период, умеренное увлажнение) [61]. Условия увлажнения в силу рельефа изменяются азонально: гидротермический коэффициент на возвышенностях даже в южной части провинции превышает 1,5.

Рассмотренные ранее геоморфологические характеристики Западно-Белорусской провинции определили разнообразие почвенных условий. Ледниковый материал сожского возраста, слагающий преобладающие здесь возвышенности, часто является непосредственной почвообразующей породой. Он может быть перекрыт маломощным чехлом водно-ледниковых отложений и современными аллювиальными отложениями. Именно поэтому почвы имеют главным образом суглинистый и супесчаный состав, реже – песчаный гранулометрический. На отдельных возвышенностях в формировании почв принимают участие лёссовидные породы [61]. Наибольшее распространение на территории провинции получили дерново-подзолистые почвы. Дерново-подзолистые заболоченные почвы не имеют значительного распространения и сочетаются с дерново-подзолистыми. Обычны в провинции аллювиальные и торфяно-болотные почвы.

В силу различных сочетаний почвообразующих условий территория может быть охарактеризована по почвенным районам [13].

Северная часть Западно-Белорусской физико-географической провинции до линии «Островец – Сморгонь – Молодечно – Логойск – Жодино» относится к обширному Вилейско-Докшицкому району Северо-Западного округа Северной (Прибалтийской) почвенной провинции. Ей свойственны дерново-подзолистые почвы на моренных супесях, подстилаемых на различной глубине моренными суглинками. Около 40 % почв заболочено, что снижает шанс сельскохозяйственного освоения территории.

Остальная часть провинции практически полностью попадает в пределы Центрального и Западного округов Центральной (Белорусской) почвенной провинции. Почвенный покров Минской и Ошмянской возвышенностей определен высотами местности. На вершинах возвышенностей преобладают дерново-подзолистые сильно эродированные почвы, развивающиеся на легких моренных суглинках и супесях, подстилаемых моренными суглинками. Пониженные участки занимают преимущественно дерново-подзолистые почвы, местами средне- и сильно эродированные, развивающиеся на легких лёссовидных суглинках, подстилаемых моренными суглинками, иногда песками. На участках водно-ледниковых низин формируются дерново-подзолистые слабо эродированные почвы на водно-ледниковых легких суглинках, местами на супесях. По гранулометрическому составу абсолютно преобладают суглинистые почвы [12].

Западную часть провинции занимает Гродненско-Волковыско-Лидский район, разделенный Мостовским районом на две части: Гродненско-Волковыско-Слонимский подрайон дерново-подзолистых почв на моренных суглинках и супесях и Щучинско-Вороновско-Лидский подрайон дерново-подзолистых почв на донно-моренных супесях. Если первый подрайон характеризуется хорошим дренажем и, несмотря на засоренность почвы камнями, высокой распаханностью (Волковысская возвышенность – до 50 %), то второй отличается большой заторфованностью и распространением дерново-подзолисто-глееватых и глеевых почв. Мостовский район песчаных почв на водно-ледниковых и древнеаллювиальных песках расположен на широкой Неманской низине. Преобладают здесь дерново-подзолистые, местами слабо эродированные почвы на древнеаллювиальных и водно-ледниковых песках. Высокий уровень почвенно-грунтовых вод обуславливает развитие процессов заболачивания и формирование торфяноболотных, а в понижениях – иллювиально-гумусовых, глееватых и глеевых почв. Распаханность – менее 30 %. Новогрудско-Несвижско-Слуцкий район дерново-подзолисто-пале-

вых почв на пылеватых лёссовидных суглинках расположен на Новогрудской возвышенности и Барановичско-Слуцком лёссовидном плато. Преобладают дерново-подзолистые почвы на легких лёссовидных суглинках, подстилаемых песками, иногда моренными суглинками. Высокое естественное плодородие дерново-подзолистых почв на лёссовидных суглинках обусловило высокую степень освоения территории. Негативной стороной данного процесса является развитие плоскостного смыва и линейной эрозии, характерной для района.

Структура земель Западно-Белорусской провинции в разрезе их видов может быть охарактеризована в пределах административно-территориальных единиц, так как единственный достоверный источник информации о землях – данные Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь. В административном отношении территория провинции близка к Гродненской области, а также северо-западной части Минской области. В 2020 г. по Гродненской области преобладали сельскохозяйственные земли (48 %), из них почти 2/3 приходилось на пашню. Лесистость территории – 37,3 %, заболоченность – 2,4 %. Присутствует тенденция к уменьшению сельскохозяйственных площадей, в первую очередь за счет луговых земель. Так, за последние 5 лет площадь пахотных земель выросла почти на 1 тыс. га, в то время как луговых уменьшилась на 23 тыс. га (рис. 1.1).

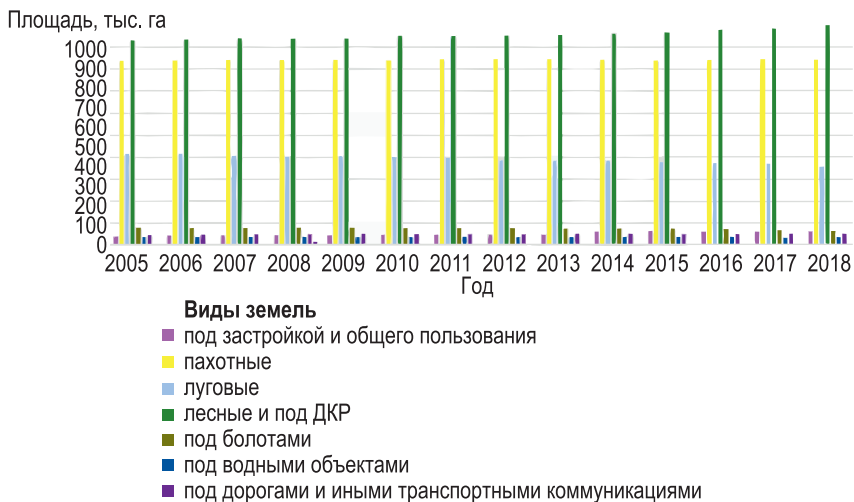


Рис. 1.1. Динамика площади земель Гродненской области с 2005 по 2020 г. (по данным Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь) [90]

Лесистость Гродненской области увеличивается большей частью за счет земель под ДКР. За 2005–2020 гг. систематически уменьшались площади болот (в 2020 г. их доля составляла всего 2,4 %). В Западно-Белорусской провинции заметная доля земель находится под застройкой из-за постоянно возрастающей площади Минска.

Экстремальными значениями сельскохозяйственного освоения (до 75 %) характеризуются районы, соответствующие возвышенностям Белорусской гряды, с дерново-подзолистыми почвами на моренных супесях (Зельвенский, Кореличский, Волковысский районы) и дерново-палево-подзолистыми почвами на лёссовидных суглинках (Несвижский, Копыльский районы). Наименьшая сельскохозяйственная освоенность свойственна Борисовскому, Лепельскому районам (менее 40 %; распаханность – до 25 %), что объясняется значительной заболоченностью территорий (до 6 %). Максимальной лесистостью обладают районы в северной части провинции (Логойский, Островецкий, Борисовский, Лепельский; более 50 %) [90]. Средний балл кадастровой оценки сельскохозяйственных земель также меняется с юго-запада на северо-восток: с 43–38 баллов для Несвижского, Копыльского, Кореличского, Зельвенского, Волковысского районов до 24–27 для Докшицкого, Мядельского, Логойского. Важный показатель освоенности территории провинции – доля осушенных сельскохозяйственных земель. Она колеблется от 35–40 % для Вилейского, Лидского, Ивьевского и Мостовского районов до 15–20 % в Минском, Гродненском, Ошмянском районах и 10 % в Волковысском. Последние 20 лет этот показатель по области практически не меняется [90]. Таким образом, сложившаяся структура земель провинции является крайне неоднородной, что отражает разнообразие природных условий территории исследования.

Провинция характеризуется также сложной ландшафтной структурой, в которой преобладают холмисто-моренно-эрозионные, камово-моренно-эрозионные и вторично-моренные ландшафты. Всего на территории провинции встречается 32 вида ландшафтов [50]. Отличительной чертой провинции является ландшафтная структура с господством возвышенных и средневысотных природных территориальных комплексов (ПТК).

Доминирующий по площади верхний ярус ландшафтов составляют холмисто-моренно-эрозионные (35,5 %) и камово-моренно-эрозионные ПТК Ошмянской и Минской возвышенностей. В южной части доминируют холмисто-моренно-эрозионные ландшафты с хол-

мисто-увалистым, местами крупнохолмистым рельефом, распространенные на Волковысской и Новогрудской возвышенностях. К Лидской и Столбцовской равнинам тяготеют средневысотные вторично-моренные ландшафты (26,9 %) с волнистой, местами увалистой поверхностью. Нижний ландшафтный ярус – долины Немана, Вилии, Березины – занят пойменными, аллювиальными, террасированными, вторичными водно-ледниковыми ландшафтами и нерасчлененными комплексами с преобладанием болот. В структуре ландшафтов на уровне подродов преобладают ПТК с прерывистым покровом водно-ледниковых супесей и покровом водно-ледниковых супесей, свойственные возвышенным ландшафтам. Далее следуют ландшафты с покровом лёссовидных и водно-ледниковых суглинков, поверхностным залеганием аллювиальных песков. Характер распространения этих таксонов имеет некоторые особенности. В средневысотных ландшафтах сочетаются ПТК с покровом водно-ледниковых супесей и покровом водно-ледниковых суглинков, преобладают первые. Гораздо более редки ПТК с поверхностным залеганием водно-ледниковых песков. Только среди низменных ландшафтов встречаются ПТК с поверхностным залеганием аллювиальных песков, а также с поверхностным залеганием торфа и песков [50]. Набор видов ландшафтов в провинции многообразен: от плоских до крупнохолмистых и платообразных. Господствующее положение занимают ПТК с холмистым характером рельефа – 45 %. На долю волнистых, волнисто-увалистых, холмисто-волнистых приходится почти такая же площадь, плоских и плоско-волнистых – значительно меньшая (9 %).

Всего на территорию Западно-Белорусской провинции приходится 14 ландшафтных районов, которые можно объединить в несколько групп. Самую многочисленную образуют Ошмянский, Волковысский, Новогрудский, Копыльский и Минский ландшафтные районы с доминирующими возвышенными холмисто-моренно-эрозионными ПТК в сочетании с вторично-моренными и камово-моренно-эрозионными ландшафтами и нерасчлененные речные долины [50]. Для Березинско-Бобрского района характерно преобладание камово-моренно-эрозионных ландшафтов, нерасчлененных комплексов с господством болот. По своеобразию ландшафтной структуры в отдельную группу выделяется Гродненский район, занимающий запад провинции. В нем возвышенные холмисто-моренно-эрозионные и камово-моренно-эрозионные ландшафты сочетаются со средневысотными вторично-моренными. В следующую группу объедине-

ны районы с преобладанием средневисотных вторично-моренных ландшафтов. Это Лидский, Столбцовский и Вилейский ландшафтные районы, расположенные разрозненно на западе, востоке и севере провинции. В комплексе с доминирующими участвуют вторичные водно-ледниковые, моренно-зандровые, пойменные ландшафты, нерасчлененные речные долины. В последнюю группу вошли Средненеманский, Верхненеманский и Верхнеберезинский ландшафтные районы, в структуре которых важную роль играют средневисотные и низменные ландшафты.

Распределение ПАЛ по Западно-Белорусской провинции также имеет определенные закономерности. В структуре ПАЛ господствуют сельскохозяйственно-лесные, занимающие почти половину территории, а в их составе – лесопольевые (62 %). Доля сельскохозяйственных и сельскохозяйственно-лесных ландшафтов составляет 36,5 и 40 % соответственно, причем они на 50–60 % представлены пахотными ПАЛ (следствие абсолютного преобладания пахотных земель над луговыми среди сельскохозяйственных земель). Для пахотных угодий характерно проявление почвенной эрозии средней и сильной степени, что особенно типично для Новогрудской возвышенности. Обращает на себя внимание очень низкий удельный вес лесных (около 5 %) и охраняемых (3 %) ПАЛ, а также максимально высокий (8 %) рекреационных [52; 54].

Границы провинций ПАЛ совпадают с границами ландшафтных провинций, однако имеются отличия на уровне районов. Так, в пределах Западно-Белорусской провинции находятся восемь районов. Ее южную часть занимают районы пахотных ПАЛ: Гродненский, Лидский, Новогрудско-Копыльский. Центральную часть провинции составляет обширный Верхне- и Средненеманский район пахотно-лесных и охраняемых аллювиальных террасированных ландшафтов. В северной части выделяются два района лесопольевых ландшафтов: Ошмянско-Воложинский и Вилейско-Логойский. Крайнюю северо-восточную часть занимает Верхнеберезинский район сельскохозяйственных и заповедных вторичных водно-ледниковых и болотных ландшафтов [52; 54]. Таким образом, с юго-запада на северо-восток прослеживается направленное изменение характера антропогенного воздействия на ландшафты, что говорит о влиянии природной основы ландшафтов на хозяйственную деятельность человека.

Несмотря на значительное количество ООПТ в пределах провинции (Березинский заповедник, более 30 заказников и 200 памятников

природы), их удельная доля в площади земель невелика – 6 % (при средней по стране в 8,7 %) [75; 76]. В то же время в пределах провинции расположены такие крупные промышленные центры, как Минск, Гродно, Лида, где формируются значительные объемы промышленных и бытовых отходов [75]. Существенная сельскохозяйственная освоенность и распаханность территории в совокупности со сложным рельефом и характером почвообразующих пород предопределили широкое распространение водной эрозии, часть районов относится к дефляционно-опасным [61]. Мелиоративная преобразованность территории, тесно связанная с антропогенной нагрузкой, крайне неравномерна. Насыщенность провинции мелиоративными сооружениями достигает максимума в Вилейском районе, также она высока в Зельвенском и Волковысском районах, для остальных близка к средней, снижается до минимума в Новогрудском и Воложинском районах [1].

Таким образом, территория Западно-Белорусской провинции характеризуется значительным разнообразием природных условий, которые предопределены генезисом поверхностных отложений и рельефом. Последний определяет появление азональных черт в распределении тепла и влаги по территории, нарушая общую закономерность их изменения с юго-запада на северо-восток. Геоморфологические особенности возвышенностей и равнин провинции определяют характер почвообразовательных процессов, из которых на возвышенностях преобладает дерново-подзолистый в сочетании с дерново-палево-подзолистым на лёссовидных породах, на равнинах и низинах – глеевым. Это определило особенности освоения природных ландшафтов. Так, верхний и средний ярусы – холмисто-моренно-эрозионные ландшафты, в значительной мере освоены и распаханы. Для средневысотных моренных и водно-ледниковых равнин характерно смешанное использование земель: перемежающиеся лесные массивы с луговыми и пахотными угодьями. Нижний ландшафтный ярус занят лесными и болотными массивами, часто отведенными под природоохранные и рекреационные цели.

Хозяйственная деятельность человека (как современная, так и прошлая) повлияла на динамику природных процессов. Наиболее характерными проявлениями можно назвать развитие эрозионных процессов на пахотных землях Западно-Белорусской провинции, что, в свою очередь, влечет вынужденное исключение бывших пахотных земель из оборота, перевод их в луговые или лесные земли и земли

под ДКР. Формирование культурных луговых сообществ, хотя их доля в площади провинции невелика (11 %), тоже стоит считать результатом целенаправленной хозяйственной деятельности. Разработка торфяных месторождений повлекла разрушение экосистем болот, нарушение гидрологического режима и необходимость принимать меры по их рекультивации.

Для более детальной проработки методик и анализа процессов динамики структуры земель был выбран **ключевой участок – Новогрудский район Гродненской области**, что обусловлено следующими причинами: типичность его физико-географических характеристик для всего объекта исследования, наличие актуальных ЗИС, схем комплексной территориальной организации и землеустройства. Район практически полностью расположен в пределах одноименной возвышенности, кроме северной части, где его дугой огибает Любчанская низина. Новогрудская краевая ледниковая возвышенность составлена отложениями сожского возраста. Верхний ярус рельефа образован крупнохолмистыми фронтальными моренными образованиями с высотами до 200–300 м (самая высокая точка – гора Замковая, 323 м). Средний ярус рельефа образует моренная равнина с абсолютными высотами 170–190 м, пологоволнистой и мелкохолмистой поверхностью. Более низкая ступень занята пологоволнистой водно-ледниковой равниной с ложбинами, долинными зандрами, скоплениями эоловых бугров, серповидными дюнами. Речная сеть образует древовидную систему левых притоков Немана [27]. Любчанская низина располагается на более низких гипсометрических уровнях: в 150–160 м. В ее пределах большую площадь занимают болота, в том числе мелиорированные, а также широкие ложбины стока талых ледниковых вод. Крупное озеро региона – Свицязь – относится к суффозионно-карстовому типу.

Поверхностные отложения – красно-бурые моренные суглинки, супеси, часто опесчаненные, сильно заволуненные. Отличительной особенностью Новогрудской возвышенности является распространение лёссовидных суглинков и супесей по северу и северо-востоку, на возвышенностях с высотами более 200 м [27; 61]. Интенсивное сельскохозяйственное использование склонов возвышенности привело к развитию эрозионных процессов. Густота расчленения овражной сети достигает 4–5 км/км², а глубина – 25–30 м/км² [61]. На таких почвообразующих породах закономерно формирование дерново-подзолистых и дерново-палево-подзолистых почв. В лож-

бинах и понижениях на Новогрудской возвышенности активно протекают процессы заболачивания [27].

Сейчас антропогенное воздействие проявляется в распашке земель и связанной с ней водной эрозии: освоенность территории достигает 55 %, из них эрозии подвержены до 20 % [61]. В восточной части района расположен массив мелиорированных земель, в том числе осушенных торфяников, на части которых ведется торфоразработка [104]. Структура земельных угодий неравномерная: лесные массивы дугой огибают Новогрудский район с севера, занимая понижения рельефа. Центральная часть района наиболее приподнята и практически полностью занята пахотными землями. Как уже отмечалось, отличительной чертой сельскохозяйственных земель района является густая овражно-балочная сеть, поэтому несмотря на распространение лёссовидных почвообразующих пород, обычно обогащенных карбонатами, средний балл кадастровой оценки пахотных земель составляет 33,7 (при средней по Беларуси в 31,2). На востоке пахотные земли отделены от лесоболотных массивов полосой луговых земель, в значительной степени мелиорированных.

Согласно функционально-планировочной типологии районов Государственной схемы комплексной территориальной организации Республики Беларусь (ГСКТО) [18; 19; 100], Новогрудский район – один из промышленно-аграрных районов страны с развитой туристско-рекреационной инфраструктурой. Он отличается наличием ценных и редких природных ландшафтов, уникальных ресурсов для комплексной организации оздоровительного отдыха, культурно-познавательного и экологического туризма. Особенностью района является еще и то, что на его территории размещаются заказники Новогрудский, Свитязянский и часть Налибокского, на территориях которых запрещена сельскохозяйственная деятельность.

Новогрудский район характеризуется средним плодородием почв (29 баллов). Плодородие почв сельскохозяйственных предприятий, размещенных на востоке от Новогрудка, составляет от 32 до 36 баллов. Наиболее низкое плодородие (26–27 баллов) характерно для угодий сельскохозяйственных производственных кооперативов «Вселюб» и «Петревичи».

Общая площадь района – 167 тыс. га, сельскохозяйственные угодья занимают порядка 77,44 тыс. га, или 46,3 % территории. Из них пахотные земли составляют 45,57 тыс. га, или 58,8 % от сельскохозяйственных (рис. 1.2).

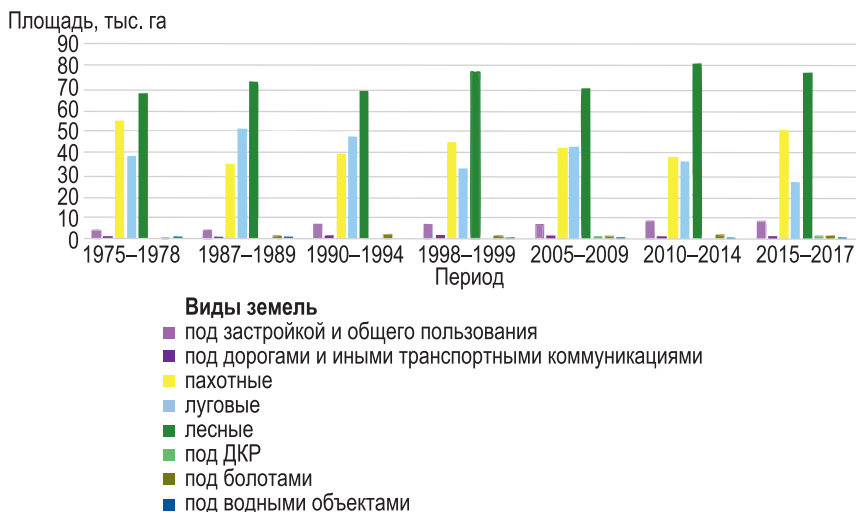


Рис. 1.2. Динамика структуры земель Новгородского района с 1975 по 2017 г., установленная по данным ДЗЗ

Общая площадь осушенных земель Новгородского района на 1 января 2011 г. составляла 20 744 га, в том числе 10 568 га было осушено дренажем. Из общей площади осушенных земель сельскохозяйственные занимали 18 660 га – около 90 %. Основная часть осушенных земель приурочена к поймам рек и используется в качестве луговых угодий или под торфоразработки. Земли природоохранного, оздоровительного и историко-культурного назначения составляют 51 478 га, или 30,82 % территории [19; 100]. Для Новгородского района характерно снижение площадей сельскохозяйственных земель: –6,7 % с 1975 по 2017 г.

1.3

Методические подходы к оценке структуры и динамики земель (по данным дистанционного зондирования Земли)

Методологическая схема физико-географических исследований предполагает несколько этапов: подготовительный, информационный (сбора данных), аналитический и заключительный (синтетический).

На **подготовительном этапе** по результатам изучения ранее выполненных работ были выявлены вопросы, оставшиеся неразрешенными в них, определены объект, предмет, задачи исследования и предполагаемые результаты.

Как уже было сказано, предметом исследования выступает структура и динамика земель Западно-Белорусской провинции. Земли рассматриваются в качестве природного ресурса, пространственно-го базиса, поэтому целесообразна их классификация по природно-историческим признакам, состоянию и характеру использования, что соответствует виду земель по определению, приведенному в Кодексе Республики Беларусь о земле [40]. В связи с этим в качестве структуры земель рассматривается их разделение на следующие виды:

- 1) пахотные;
- 2) луговые;
- 3) лесные и под ДКР;
- 4) под болотами;
- 5) под водными объектами;
- 6) под застройкой и общего пользования;
- 7) под дорогами и иными транспортными коммуникациями.

Приведенные виды земель (агрегированные для удобства их распознавания на данных ДЗЗ) являются важнейшими при мониторинге и прогнозировании использования земель на национальном и региональном уровнях.

Анализ физико-географических особенностей Западно-Белорусской провинции показал крайнее разнообразие геологических, геоморфологических, почвенных и, как следствие, ландшафтных условий, что предъявляет повышенные требования к масштабам, уровню агрегации, детальности входных материалов для исследования. Особенности формирования базы данных Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь не позволяют использовать ее для проведения исследования: во-первых, агрегация статистики о структуре земель до уровня района позволяет выявить лишь самые общие тенденции динамики структуры земель, исключает анализ пространственных закономерностей динамики, что противоречит задачам исследования; во-вторых, асинхронность формирования и обновления ЗИС и Реестра приводит к потере оперативной информации о структуре земель, исключает анализ временных тенденций динамики, что в итоге противоречит задачам данного исследования. Именно поэтому было принято решение о самостоятельном формировании исходных дан-

ных для исследования: на основе данных ДЗЗ. Дистанционное зондирование Земли – получение информации о поверхности Земли, объектах на ней или в ее недрах любыми неконтактными методами [5; 6; 48; 141]. А. Г. Исаченко относит использование данных ДЗЗ к методам наблюдения и информационного обеспечения географических исследований [35], ведь такие особенности материалов ДЗЗ, как оперативность получения, обзорность, объективность, делают их незаменимым источником информации. Дистанционное зондирование Земли отличает то, что его результаты могут быть использованы в рамках как хронологического (т. е. аналогично картографическим произведениям), так и хронологического подхода для историко-географического анализа и установления динамики и эволюции геосистем. В цикл исследований методами ДЗЗ входит множество этапов: разработка аппаратуры, ее лабораторные и полетные калибровки, разработка методов обработки полученной информации [4]. Для географии наибольшую ценность представляют выходные данные. Основываясь на зависимости между свойствами, состоянием объекта и характером его отображения в материалах дистанционных съемок, географ получает уникальную по своей насыщенности информационную модель местности. На ее базе уже в цикле географического исследования могут быть построены собственные модели.

На данный момент исследования с использованием данных ДЗЗ в Беларуси ведутся в нескольких направлениях. Востребована разработка методов автоматизации обработки данных ДЗЗ [72; 73] и демонстрация их работы на тестовых участках [68]; исследуются возможности анализа спутниковых снимков для сельского и лесного хозяйства [4; 34]; с помощью спутниковых данных выполняется оценка «конфликтных» землепользований (нарушенных торфяников и городских зеленых насаждений) [115]; в ООПТ проводятся наблюдения за естественной динамикой развития экосистем [43; 59], ведутся базы данных эталонов для разработки в будущем автоматизированных систем мониторинга [63]. Однако самое объемное исследование динамики структуры земель, по данным ДЗЗ, выполнено для всей территории Витебской области путем визуального анализа снимков [77].

В то же время регулярно составляются и обновляются различные карты глобального и регионального охвата, куда попадает и территория Беларуси, характеризующие структуру видов земель с пространственным разрешением от 100 до 1000 м [124; 132; 162]. Они обладают подробными легендами картографируемых видов земель для

всего мира, однако для территории Беларуси их число обычно сводится к четырем: водные объекты, леса, сельскохозяйственные земли и земли под застройкой.

Значительный вклад в распространение материалов ДЗЗ и результатов их обработки принадлежит программе *Copernicus* Европейского космического агентства [128; 130; 132]. Именно в рамках ее происходит обновление данных о землепользовании в Европе и мире (*Corine Land Cover*, *CCI Land Cover*), ведутся работы по их уточнению и детализации. Эти данные могут рассматриваться как готовые продукты, которые можно использовать в других областях науки (городское планирование, изучение реакции экосистем на изменение климата, мониторинг фрагментации мест обитания животных, трансформация аграрного землепользования, различные модели динамики развития геосистем).

Информационный (инвентаризационный) этап исследования потребовал не столько сбора и систематизации данных о структуре земель из данных государственной статистики, сколько разработки оригинальной методики автоматизированного картографирования видов земель на основе данных ДЗЗ. Этапы ее разработки содержали обоснование и выбор исходных космических снимков, подходы к распознаванию отдельных видов земель, оценку точности выходных цифровых карт. На основе данной методики была сформирована серия карт, составленных на базе цифровых растровых слоев с пространственным разрешением, соответствующим исходным данным, – 60 или 30 м, агрегированных в пятилетних интервалах (1975–1978, 1987–1989, 1990–1994, 1998–1999, 2000–2004, 2005–2009, 2010–2014, 2015–2017 гг.) и отражающих распространение целевых видов земель. Для ключевого участка (Новогрудский район) были подготовлены аналогичные цифровые карты на основе цифровых растровых слоев с пространственным разрешением в 10 м. Для них был расширен перечень целевых видов земель: добавлены нарушенные земли, разделены лесные земли и земли под ДКР. Временные рамки исследования (1975–2017 гг.) определялись наличием доступных космических снимков на территорию исследования. Эти материалы стали информационной базой исследования. Таким образом, базис исследования на данном этапе составили методы ДЗЗ и картографический.

Кроме того, была собрана статистическая информация о структуре земель по материалам Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь с 2005 г. [90]. Для удобства работы со статистическими

показателями были рассчитаны относительные площади видов земель на территории исследования.

Метод ключевых участков широко применяется во всех географических исследованиях; в данном случае на ключевом участке выполнялись проверка гипотез, верификация методик, был укрупнен масштаб исследования. Выбор Новогрудского района в качестве ключевого объясняется репрезентативностью его физико-географических условий по отношению ко всей территории исследования. За счет привлечения дополнительных источников данных, которые невозможно собрать для всей провинции (нормативно-правовые акты, тематические карты, открытые картографические данные, статистическая информация для административного уровня сельских советов и др.; табл. 1.1), на ключевом участке был реализован системный подход к анализу территории: проведено моделирование динамики структуры земель с привлечением карт-факторов, влияющих на нее, составлен прогноз будущей структуры земель. В итоге для ключевого участка были разработаны рекомендации по проведению мероприятий, направленных на снижение конфликтности землепользования.

Таблица 1.1

Материалы для изучения ключевого участка исследований

Блоки информации	Материалы
Нормативные документы, планировочная и иная документация	Схема комплексной территориальной организации района [100], схема землеустройства района
Общедоступные картографические данные	Дорожная сеть, границы населенных пунктов <i>OpenStreetMap</i> , цифровая модель рельефа, границы болот, торфоразработок, ООПТ [24; 91; 104]
Иные картографические данные	Коридоры миграции диких животных [101], границы сельских советов, ЗИС района
Статистическая информация	Численность населения по населенным пунктам района (сайт районного исполнительного комитета Новогрудского района)

На **аналитическом этапе** были проведены сравнение, географическая систематизация и интерпретация полученных результатов.

Самый простой способ обнаружения динамики структуры земель – последовательное сопоставление площадей, полученных

с цифровых карт. Для этого цифровые растровые слои видов земель были конвертированы в векторные. Статистика по площадям была агрегирована в пределах групп земель. Площади были подсчитаны на эллипсоиде *WGS 84* в проекции *UTM*, зона *35N*.

Тем не менее преимуществом работы с цифровыми картографическими данными, а также данными ДЗЗ выступает возможность провести анализ динамики в пространственном контексте. При работе с данными ДЗЗ часто используется довольно формальное определение изменения состояния наземных объектов: смена спектральных или пространственных (границы, площади) свойств объекта наблюдения [31; 133]. Это определение ориентировано на техническую сторону вопроса обнаружения изменений, однако подчеркивает тот факт, что с помощью данных ДЗЗ могут быть зарегистрированы различные типы динамики структуры земель. Не все преобразования, выявление которых потенциально возможно, одинаково важны для исследователя. Именно поэтому понимание природы происходящих изменений включает не только их обнаружение, но и правильный анализ и осмысление.

Выявление изменений можно представить в виде алгоритма, на вход которого поступают снимки начального и конечного состояний, а на выход – слой трансформаций. Интерес для исследователя-географа в этом случае представляет конечный продукт, однако выбор алгоритма сильно влияет на результат. Обзоры выделяют более десяти методов обнаружения изменений по данным ДЗЗ [153; 155; 159; 167; 168]. Их можно разделить на две группы: ориентированные на работу со снимками (создание разностных и относительных изображений, мультिवременного композита [167], преобразование цветового пространства разновременных данных [147], векторный анализ изменений [153], анализ временных серий наблюдений [28; 97]) и с выходными данными – результатами картографирования или классификации.

Преимущество первой группы – возможность выявить даже незначительные изменения состояния, недостаток – сложность интерпретации полученных данных, ведь факт трансформаций, обнаруженный на снимке, не является равнозначным динамике. В связи с этим широкое распространение получили методы сравнения результатов классификации (дешифрирования) [131; 138; 173; 180]. Их использование не требует тщательной предварительной подготовки снимков и позволяет избежать артефактов и несущественных

колебаний состояния ландшафта. Главным недостатком выступает зависимость точности итогового распознавания изменений от достоверности классификации. Данный подход закономерно применять при анализе итоговых результатов дешифрирования, в то время как создание мультитременных композитов и анализ временных серий изображений могут быть использованы в качестве промежуточных шагов обработки материалов ДЗЗ.

Простое наложение последовательных слоев создает много «шума», поэтому был разработан алгоритм группировки отдельных контуров (ландшафтов или контуров видов земель) на основе статистики о структуре и динамике земель в их пределах. Такой анализ применялся для ландшафтов Западно-Белорусской провинции [14; 49; 92] и земельных участков площадью более 900 × 900 м. Главными методами для решения этой задачи стали геоинформационный (ГИС) и кластерный анализы в составе математико-статистических методов.

Для определения структуры и динамики земель ландшафтов были рассчитаны доли площадей всех видов земель в каждом из временных интервалов с 1975 по 2017 г., выявлен преобладающий вид земель в каждом из интервалов. Таким образом, для каждого контура ландшафтов было рассчитано 56 характеристик. Далее была выполнена группировка ландшафтов по рассчитанным характеристикам с помощью алгоритма пространственной кластеризации (инструмент «Анализ группирования» в *ArcGIS*). В результате были определены группы ландшафтов, сходные по процентному соотношению видов земель на каждом временном интервале и тенденциям смены преобладающего вида земель. Их проанализировали, интерпретировали, при необходимости объединили в более крупные. С помощью данного подхода выделили девять групп ландшафтов, различных по структуре земель и направлению динамики. Среди них есть как стабильные за весь период наблюдения (лесные, болотно-лесные, пахотные, лугово-лесные и лугово-пахотные), так и динамичные (переходные от пахотно-лесных к лесопольевым, от лесолуговых к лугово-лесным, от пахотно-луговых к лугово-пахотным).

Однако благодаря высокому пространственному разрешению используемых карт видов земель возможен анализ и в более крупном масштабе, т. е. для отдельных земельных участков. Для этого был применен подход, аналогичный описанному выше, но в приложении к крупным земельным участкам (рис. 1.3). Вся исследуемая

территория была разбита на квадраты 900×900 м. В пределах каждого были рассчитаны доли площадей всех видов земель в каждом из временных интервалов с 1975 по 2017 г., определен преобладающий вид земель во всех периодах времени. На основе этих характеристик квадраты были разбиты на 16 групп, в результате анализа сведенных к 9, которые были интерпретированы по структуре и направлениям динамики структуры земель. Все девять направлений динамики характеризуются определенной структурой земель с преобладанием одного из видов земель в каждом временном интервале и тенденциями трансформаций земель из одного вида в другой. Для составления цифровой карты динамики структуры земель цифровые векторные слои видов земель с 1975 по 2017 г. были пересечены между собой. С помощью зональной статистики полученные атрибуты квадратов (разделение на десять типов динамики) были перенесены в атрибуты результата пересечения. Контуры с одинаковыми типами были объединены и генерализированы.

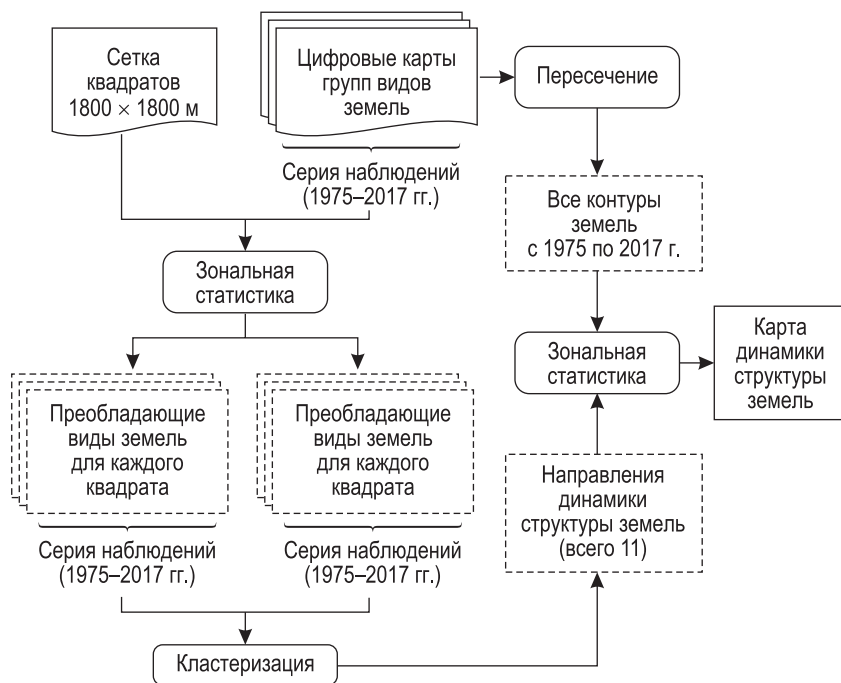


Рис. 1.3. Алгоритм составления цифрового слоя динамики структуры земель

Полученные карты указывают на то, что динамика структуры земель Западно-Белорусской провинции гетерогенна: обнаружены стабильные и динамичные участки. Для оценки скорости и характера динамики для каждого ландшафта были рассчитаны суммы абсолютных отклонений площадей видов земель в каждом временном интервале от средней площади за весь период мониторинга:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum |x - \bar{x}|,$$

где x – площадь вида земель в пределах ландшафта за отдельно взятый интервал наблюдений, %; \bar{x} – средняя площадь вида земель в пределах ландшафта за весь период наблюдений, %.

Далее была рассчитана статистика: среднее (M) и среднеквадратическое отклонение (S) суммы абсолютных отклонений площадей по всей провинции для каждого вида земель (табл. 1.2). Ландшафты относились к группам в зависимости от величины суммы отклонений в сравнении со средними по провинции показателями для доминантного и субдоминантного (у переходных групп) вида земель: стабильные ($MAD < M - S$), относительно стабильные ($M - S < MAD < M$), умеренно динамичные ($M < MAD < M + S$), динамичные ($MAD > M + S$).

Таблица 1.2

**Статистика динамики структуры видов земель
в пределах ландшафтов Западно-Белорусской провинции, %**

Земли	$M - S$	M	$M + S$
Под застройкой и общего пользования	0	0,26	1,04
Пахотные	2,84	5,55	8,26
Луговые	3,39	6,23	9,08
Лесные и под ДКР	1,77	3,53	5,29
Под болотами	1,13	2,82	4,52

Коэффициент антропогенной трансформации (K_{AT}) вычислялся по следующей формуле:

$$K_{AT} = \sum_{i=1}^n (r_i \rho_i P_i), \quad (1.1)$$

где r_i – ранг антропогенной трансформации; ρ_i – индекс глубины антропогенной трансформации; P_i – доля площади вида земель.

В качестве интегральной характеристики структуры земель была использована метрика антропогенной трансформации ландшафт-

та [57], оцененная по формуле (1.1) П. Г. Шищенко [110]. Ранги и индексы антропогенной трансформации в исходной формуле были адаптированы применительно к перечню видов земель в пределах объектов исследований (табл. 1.3).

Коэффициент изменяется в границах от 0 до 10, где 0 – отсутствие антропогенного вмешательства, 10 – полностью преобразованный ландшафт.

Таблица 1.3

**Антропогенная трансформация видов земель и объектов
Западно-Белорусской провинции**

Объекты, земли	Ранг	Индекс глубины
ООПТ	1	1,00
Лесные	2	1,05
Под болотами	3	1,10
Луговые	4	1,15
Пахотные	6	1,25
Под застройкой и общего пользования	8	1,35

Следующим шагом изучения структуры и динамики земель стало прогнозирование динамики развития землепользования. Наиболее применяемый из существующих вариантов – экстраполяция трендов [70; 81]. Метод экстраполяционного прогноза предполагает, что факторы, влиявшие на динамику структуры земель в прошлом, будут сохраняться и в будущем. Для составления прогноза методом тренда была использована библиотека *FB-prophet* в среде *R* [173], которая помогает выделить тренды из разновременных данных с учетом точек перегиба, когда тренд меняет свое направление. Исходными данными являлись временные ряды наблюдений с регулярным шагом. Результатом прогноза выступает экстраполяция тренда на несколько шагов вперед и доверительные интервалы данной экстраполяции. Однако этот метод имеет низкую достоверность и скорее помогает сориентироваться в существующих трендах и выполнить базовую оценку. Кроме того, анализ трендов нельзя применить для анализа пространственных данных и составления карт-прогнозов.

Наиболее доступные инструменты моделирования динамики структуры земель – готовые программные решения. Из них следует выделить модуль *MOLUSCE* [41] для программ *QGIS*, *Lucas* [155] и *Land*

Change Modeler для *TerrSet* [174]. На основе карт за два временных интервала и набора карт-факторов можно составить прогноз структуры земель в будущем. С использованием этих инструментов были подготовлены карты-прогнозы локального уровня для ключевого участка – Новогрудского района.

Для моделирования и прогнозирования пространственного аспекта динамики структуры земель был применен модуль *Land Change Modeler* ГИС *TerrSet* [174]. В качестве входных данных использовались цифровые карты видов земель и вспомогательные данные (карты-факторы). Процесс моделирования изменений состоял из нескольких шагов [134].

1. Сопоставление двух разновременных цифровых растровых слоев, отражающих распространение отдельных видов земель на исследуемой территории. Требовалось, чтобы слои имели одинаковое пространственное разрешение и были представлены в одной легенде, т. е. содержали одни и те же виды земель. Может быть выполнено количественное сравнение трансформации одних видов земель в другие, а также сгенерированы карты трансформаций. Необходимо выбрать виды трансформаций для дальнейшего изучения: отсеять малые по площади, объединить схожие.

2. Моделирование, в ходе которого создаются карты потенциальных трансформаций. Предварительно выполняется настройка модели, заключающаяся в выборе трансформаций, объединении их в подмодели и подборе факторов, влияющих на эти подмодели. Факторами динамики могут быть биофизические или социально-экономические характеристики, представленные в виде растров, например рельеф и производные от него, расстояния от дорог или участков уже совершившихся трансформаций. Факторы выбираются экспертным путем, есть возможность установить силу взаимосвязи потенциальной трансформации с выбранными пользователями факторами. Результатом моделирования является растровый слой потенциальных трансформаций, который рассчитывается для каждой подмодели на основе выбранной совокупности факторов.

3. Составление карты-прогноза. В ходе данного процесса итеративно сравниваются выходные карты потенциальных трансформаций и выбираются наиболее вероятные изменения. Дополнительно в процесс прогнозирования могут быть введены планировочные ограничения или предполагаемые изменения. После расчета возможна оценка точности результатов относительно известного состояния земель (рис. 1.4).

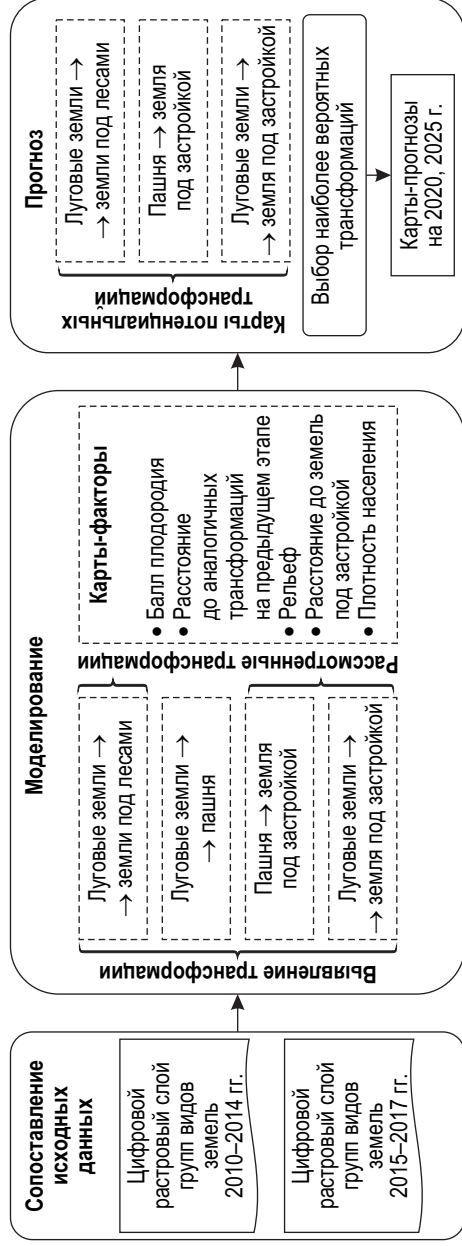


Рис. 1.4. Пример последовательности действий при прогнозировании структуры земель

На **заключительном этапе** исследований были обобщены наблюдаемые процессы пространственной организации структуры земель территории исследования и сформулированы пространственно-временные особенности динамики структуры земель.

На основе системного подхода и комплексной оценки земельно-ресурсного потенциала Новогрудского района предложены мероприятия по оптимизации структуры земель. Первым этапом систематизации сведений о территории стало ее природно-хозяйственное зонирование. Зонирование стоит рассматривать как первый этап анализа территории, который облегчает обнаружение неоднородности современной пространственной структуры земель, указывает на проблемы и конфликты в использовании земель, позволяет сформировать общую перспективную модель использования и охраны земель [11]. Задача природно-хозяйственного зонирования – выделение однородных в природном и хозяйственном отношении зон и подзон с учетом интересов различных землепользователей [17]. Для каждой из выделенных зон с учетом ее структуры земель и хозяйственных функций, выявлены потенциальные, а далее – с использованием ГИС-анализа – реальные конфликты землепользования. Кроме того, сложившаяся структура земель проанализирована как пространственная основа для организации экологического каркаса территории с применением ландшафтных метрик, оценивающих фрагментацию и контрастность территории исследования. Выполненный ранее прогноз структуры земель помог проанализировать тенденции динамики структуры видов земель, выявить негативные тренды. В итоге был предложен комплекс мероприятий, направленных на предотвращение возникновения новых земельных конфликтов и деградации земель района при сохранении современного уровня сельскохозяйственной освоенности.

2

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ КАРТ ВИДОВ ЗЕМЕЛЬ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

2.1

Дистанционное зондирование Земли как инструмент географических исследований

Исследование геосистем дистанционными методами требует тщательного подхода к выбору исходных данных: спутниковых снимков с точки зрения пространственного разрешения, масштаба, спектральных характеристик, сроков и качества съемки. Именно поэтому для использования данных ДЗЗ в географических исследованиях необходимо иметь некоторое представление о характеристиках этих материалов.

Одна из важнейших классификаций систем ДЗЗ – разделение их на пассивные (регистрирующие естественное излучение) и активные (генерирующие излучение и затем анализирующие его отраженную часть). Пассивные системы регистрируют излучение двух источников: Солнца (одна часть – отраженное от объектов на поверхности излучение, другая – рассеянная ими), атмосферы и земных объектов (в тепловом инфракрасном диапазоне), а активные – отраженное излучение, отправляемое ими же.

Пассивные оптические системы – наиболее распространенный и доступный источник данных для исследований. Пассивные системы разделяют по диапазону регистрируемого излучения [4; 26; 38; 47; 111]: солнечная радиация (ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное излучение) и тепловое излучение до микроволновой части спектра. Инфракрасный диапазон длин волн делится на два отрезка 1,3–3,0 мкм и 3–10 мкм. В первом интервале регистрируется отраженное солнечное излучение, а во втором – собственное излучение Земли.

Большое значение при выборе материалов космической съемки для исследования играют съемочные диапазоны. Количество съемочных каналов мультиспектральных спутниковых систем колеблется от 3 до 30 широких (несколько десятков нанометров) каналов с различным назначением. Расположение диапазонов съемки в спектре определяется окнами прозрачности атмосферы и спектральными характеристиками объектов исследования. Большинство каналов предназначены для получения информации о наземных объектах – их спектрального образа (табл. 2.1), некоторые – вспомогательные (используются, например, для обнаружения определенных типов облаков).

Таблица 2.1

**Назначение основных съемочных каналов
мультиспектральных спутниковых систем**

Спектральный диапазон (длина волн, нм)	Назначение	Примеры сенсоров
Фиолетовый (430–450)	Обнаружение атмосферных аэрозолей, изучение прибрежных территорий	<i>Landsat-8, Sentinel-2A/B, WorldView-2</i>
Синий (450–510)	Батиметрия, разделение хвойных и лиственных пород деревьев, синтез в естественных цветах	<i>Landsat-8, WorldView-2, Sentinel-2A/B, RapidEye</i>
Зеленый (530–590)	Обнаружение зеленой растительности, распознавание различных типов растительности, синтез в естественных цветах	<i>Landsat-8, Sentinel-2A/B, WorldView-2</i>
Желтый (590–625)	Обнаружение увядания растительности, синтез в естественных цветах	<i>WorldView-2</i>
Красный (640–690)	Обнаружение увядания растительности, открытых почв, оксида железа в горных породах, синтез в естественных цветах	<i>Landsat-8, Sentinel-2A/B, WorldView-2, RapidEye</i>
Крайний красный (750–840)	Оценка активности вегетации и здоровья растительности и биомассы	<i>Sentinel-2A/B, RapidEye, WorldView-2</i>
Ближний инфракрасный (850–880)	Подсчет биомассы растительности, активность вегетации, оценка здоровья растительности	<i>Landsat-8, Sentinel-2A/B, WorldView-2, RapidEye</i>
Коротковолновый красный (1570–2290)	Содержание влаги в растительности и почве, выделение заболоченных или подтопленных территорий	<i>Landsat-8, Sentinel-2A/B</i>

Примечание. Разработано на основе [26; 29].

Важной задачей в цикле географического исследования является определение объекта исследования – территории (охвата) и масштаба (уровня детализации). Данные характеристики напрямую связаны с выбором необходимых материалов ДЗЗ. Системы ДЗЗ классифицируются по обзорности, масштабу (табл. 2.2) и пространственному разрешению (табл. 2.3).

Таблица 2.2

Классификация систем ДЗЗ

По обзорности			По масштабу	
Характеристики	Площадь охвата, км ²	Ширина полосы охвата, км	Характеристики	Знаменатель масштаба
Глобальные	10 ⁸	10 000	Сверхмелкомасштабные	>10 000 000
Континентальные	10 ⁶	500–3000	Мелкомасштабные	>1 000 000
Региональные	10 ⁴	50–500	Среднемасштабные	>100 000
Локальные	10 ²	10–50	Крупномасштабные	>10 000

Примечание. Разработано на основе [38; 47; 111].

Таблица 2.3

Классификация систем ДЗЗ по пространственному разрешению

Пространственное разрешение	2004 г.	2007 г.	2011 г.	2017 г.
Очень низкое	>10 км	>1 км	–	>1 км
Низкое	300–1000 м	300–1000 м	>1 км	100–1000 м
Среднее	50–200 м	50–200 м	Сотни м	10–30 м
Относительно высокое	–	–	30–100 м 10–30 м	5–10 м
Высокое	1–40 м	1–40 м	1–10 м	1–5 м
Очень высокое	0,3–0,9 м	< 1 м	<1 м	<1 м

Примечание. Разработано на основе [38; 47; 111].

До настоящего момента спорным остается вопрос о соотношении масштаба космических снимков с их пространственным разрешением. Необходимо принять во внимание не только пространственное разрешение (часто отождествляется с размером пиксела цифрового растрового изображения, но является именно характеристикой минимального размера объектов, которые можно распознать на снимке,

и зависит в том числе от качества съемки: смаза изображения, динамического диапазона), но и заявленную точность определения координат объектов на снимках. При учете всех этих параметров оказывается, что космические снимки возможно применять при масштабах от 1 : 10 000 и мельче, т. е. решать задачи на локальном уровне (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Соотношение масштаба выходных картографических материалов и размера пиксела исходного цифрового растрового снимка

Масштаб плана	Номинальный рекомендуемый размер пиксела, м	Максимальный допустимый размер пиксела, м
1 : 2000	0,17	0,22
1 : 5000	0,33	0,42
1 : 10 000	0,50	0,64
1 : 25 000	0,80	1,00

Примечание. Разработано на основе [36].

Практическое использование информации при работе с «сырым» снимком затруднительно, так как исходные материалы содержат избыточные данные. Для извлечения тематической информации из материалов ДЗЗ предназначен такой этап обработки, как дешифрирование с итогом в виде карт. Дешифрирование – процесс изучения по геоизображениям территорий, акватории и атмосферы, основанный на зависимости между свойствами дешифрируемых объектов и характером их воспроизведения на снимках [6; 48]. Цель дешифрирования – получить определенный объем качественной и количественной информации по данным ДЗЗ о состоянии, составе, структуре, размерах, взаимосвязях и динамике наземных процессов, явлений, объектов. Результаты дешифрирования часто представляются в виде тематических карт.

В первом приближении различают дешифрирование визуальное и автоматическое или полуавтоматическое. Визуальное дешифрирование подразумевает извлечение качественной и количественной географической информации при непосредственном рассмотрении снимка. Дешифровщик наблюдает всю информацию о наземных объектах и связях между ними. Кроме цвета (спектральной яркости отдельных каналов), при визуальной интерпретации снимков важны форма и пространственное расположение объектов. Последние сложно выразить количественно или в виде ограниченного числа правил. Именно поэтому такой способ дешифрирования дает важ-

ную информацию, которую сложно получить при формализованном компьютерном распознавании. Однако визуальное дешифрирование носит субъективный характер, и его результаты во многом зависят от подготовки дешифровщика.

Компьютер позволяет быстро обработать большое количество данных, выделить характерные объекты местности, разделить их четкими границами. Задача компьютерного дешифрирования состоит в автоматизированном разделении всех пикселей снимка на группы (классы, кластеры), соответствующие разным объектам по такому формальному признаку, как значение спектральной яркости пикселя или соотношение яркостей внутри группы пикселей. В связи с этим автоматизированное дешифрирование часто отождествляют с классификацией изображения – процессом количественного отбора данных из изображения и группировки пикселей или частей изображения в классы, предназначенные для представления различных физических объектов и их типов [38; 125].

По характеру реализации различают классификации с обучением (контролируемые, полуавтоматические) и без (неконтролируемые, автоматические). Неконтролируемые подходы к классификации используются на этапе «разведки» данных для лучшего понимания характеристик объектов, отображенных на снимках, а также для создания обучающих выборок. Целью этого процесса является выделение различимых кластеров в многомерном пространстве признаков, где размерность пространства равна количеству используемых спектральных каналов. Неконтролируемая классификация формирует статистически четко различимые классы, но без гарантии соответствия классов реальным объектам [38]. Управляемая классификация (с обучением, полуавтоматическая) использует информацию о том, какие классы ожидает найти на изображении пользователь: обычно указываются участки снимка, на основе которых формируются эталонные диапазоны значений пикселей для того или иного класса. Все изображение проверяется на принадлежность каждого пикселя к заданному диапазону значений по критериям, определяемым методом классификации. Кроме интервалов значений пикселей в каждом канале, алгоритмом используются функции, определяющие, как пиксел будет попадать в конкретный класс.

Различают способы автоматизированного дешифрирования по характеру распределения значений яркости: параметрические и непараметрические способы классификации. Непараметрические способы не учитывают характер распределения яркостей внутри класса.

Распределение может быть неоднородным, а класс может включать произвольные сочетания яркости. Для применения этих способов классификации необходимо только максимально точно указать границы каждого класса. В эту группу входят как простые методы, например способ спектрального угла (рассчитывает принадлежность к классу на основе отклонения угла спектральной кривой каждого пиксела от эталонного для класса), так и сложные, такие как нейросетевые классификаторы [31]. Если первая подгруппа непараметрических методов не используется широко ввиду ограниченных возможностей распознавания, то вторая в последнее время приобретает все бóльшую популярность.

Наибольшее распространение получили параметрические классификаторы, поскольку они предполагают, что распределение значений яркости в каждом классе близко к нормальному. В качестве параметров классификации могут быть использованы средние значения (центры классов), стандартные отклонения, матрица ковариаций и другие метрики расстояния между классами [38]. К таким способам относится метод максимального правдоподобия. Он показывает относительно высокую точность и при этом не затрачен с вычислительной точки зрения.

В случае использования алгоритма классификации с обучением непосредственной классификации предшествует работа пользователя по определению необходимых спектральных каналов или их сочетаний, нужного количества классов, набору эталонов, их анализу, выбору метода классификации.

К данным ДЗЗ для решения задач текущего и долгосрочного мониторинга земель нужно предъявлять требования, связанные с наличием характерных спектральных каналов (см. табл. 2.1), пространственного разрешения не хуже среднего (см. табл. 2.3), доступного архива данных, со скоростью обновления съемки (чаще раза в месяц – для выбора безоблачных снимков в пределах вегетационного периода или межени). Оптимальным выбором для такого рода исследований являются спутники серии *Landsat* и *Sentinel-2*. Спутники серии *Landsat* находятся на орбите с 1972 г. и поставляют мультиспектральные снимки среднего пространственного разрешения (60, 30 и 15 м) с интервалом в 16 дней. Наличие спектральных каналов от синего до коротковолнового инфракрасного диапазонов длин волн позволяет с их помощью выделить различные виды землепользования. Такие характеристики делают их незаменимыми при долгосрочном мониторинге и даже ретроспективных исследованиях на регио-

нальном и локальном уровнях. Данные спутников *Sentinel-2* также относятся к мультиспектральным. Они опережают данные *Landsat* по пространственному разрешению (от 10 м) и интервалу обновления данных – раз в 10 дней. Однако первый спутник группировки был запущен в 2015 г., что позволяет использовать их только для мониторинга земель последние 7 лет.

2.2

Методика тематического картографирования видов земель

Для картографирования структуры земель был собран **каталог космических снимков**. Его основу составляют данные съемочных систем *Landsat 2–8*. Они относятся к среднемасштабным (15–60 м), изображение регистрируется в 4–9 спектральных каналах от видимого синего до среднего инфракрасного диапазона длин волн.

Кроме того, снимки *Landsat* за весь период миссии распространяются бесплатно с уровнем обработки 1G: данные, скорректированные на радиометрические и геометрические помехи сенсора с геопривязкой по орбитальным данным, ортотрансформированные; среднеквадратическая ошибка положения точек не хуже 250 м [151]. Для перекрытия всей территории провинции необходимо от 8 до 12 сцен, при этом они могут быть сняты с 5 витков, т. е. за 5 дней в условиях безоблачной погоды.

Первый спутник серии *Landsat* был запущен в 1972 г. (*Earth Resources Technology Satellite, ERTS-1*), позже еще семь аппаратов продолжили ряд наблюдений почти до 50 лет. *Landsat-5* установил рекорд по продолжительности спутниковых наблюдений Земли – 28 лет и 10 месяцев. Это вдвое больше, чем его запланированное время существования. В 2013 г. был запущен восьмой спутник *Landsat OLI-TIRS (Operational Land Imager – Thermal Infrared Sensor)* [150], в 2021 г. – девятый. Предоставление свободного доступа к такому большому количеству данных расширяет возможности их применения. Как следствие, сегодня данные *Landsat* – наиболее распространенные материалы для исследования земных экосистем и их динамики.

Поскольку временной охват исследования с 1975 по 2017 г., то для картографирования видов земель были использованы изображения съемочных систем *Landsat 1–4 MSS* (4 канала; пространствен-

ное разрешение – 60 м); *Landsat 4–5 TM* (7 каналов; пространственное разрешение – 30 м); *Landsat 7 ETM+* (8 каналов; пространственное разрешение – 30 м); *Landsat 8 OLI* (9 каналов, пространственное разрешение – 30 м). Всего из архива Геологической службы США (*USGS*) [177] было отобрано более 200 сцен с 1975 по 2017 г. Первоочередное требование – выполнение съемки в пределах вегетационного периода. Другими словами, даты колеблются от 30 апреля – 5 мая весной и до 25–30 сентября осенью [61]. При неполном покрытии территории съемкой за этот период интервал поиска расширялся до бесснежного сезона. Периодичность съемки одной и той же территории для спутников серии *Landsat* – 16 дней. Получить снимки с одинаковыми характеристиками на каждом витке невозможно, в первую очередь из-за условий облачности, поэтому второе необходимое условие – наименьшее облачное покрытие (до 10–15 %). Таким образом, на каждый из пятилетних интервалов рассматриваемого периода приходилось от 14 до 40 сцен. Такой разброс обусловлен различным составом спутниковой группировки: если на орбите находится более одного действующего спутника, то периодичность съемки составляет менее 16 дней, и вероятность получения безоблачного снимка возрастает. Для актуализации и повышения пространственного разрешения выходных данных на территории Новогрудского района также были использованы снимки спутников *Sentinel-2A/B* (13 спектральных каналов с пространственным разрешением 10, 20 и 60 м). Для работы отбирались снимки уровня обработки 1С (данные, скорректированные на радиометрические и геометрические помехи сенсора, значения отражательной способности приведены к верхней границе атмосферы, геопривязаны по орбитальным данным, ортотрансформированные) [168–170].

В качестве вспомогательных данных для оценки точности дешифрирования были использованы данные съемочных систем *OrbView-3* и белорусского космического аппарата (БКА). Сцены *OrbView-3* были получены из архива *USGS* [177]. Выбирались безоблачные сцены на территорию исследования. Все они панхроматические и сняты летом – осенью 2006 г. с уровнем обработки 1В: радиометрически и геометрически калиброваны и геопривязаны по орбитальным данным. Дополнительно было выполнено ортотрансформирование снимков.

К слову, спутник *OrbView-3* был запущен компанией *GeoEye* в 2003 г. и стал одним из первых спутников сверхвысокого разрешения. Геометрический размер пиксела на местности у панхроматического сенсора составляет 1 м, у мультиспектрального – 4 м. По-

лоса захвата – 8 км. Однако в связи с неисправностью аппаратуры спутник был выведен с орбиты в 2007 г.

Материалы БКА в исследовании представлены шестью сценами уровня обработки 3(C): мозаика микрокадров датчиков МСС и/или ПСС, прошедших радиометрическую и геометрическую коррекции и ортотрансформированных с использованием наземных опорных точек и цифровой модели рельефа. Для создания контрольных точек использовались изображения в синтезе «естественные цвета» с повышенным пространственным разрешением.

Предварительная обработка данных *Landsat* уровня *L1G* сводится к радиометрической коррекции (пересчет исходных значений пикселей в физические значения, получение сопоставимых между разными снимками относительных значений яркости) и удалению пикселей с облаками и дымкой. Для данных *Sentinel-2* такая обработка не является необходимой, поскольку они поставляются с уже выполненной радиометрической коррекцией.

Для радиометрической коррекции был задействован инструмент *ENVI Radiometric Correction* [136], который позволяет сделать калибровку с использованием ее параметров из метаданных снимка. Атмосферная коррекция снимков (удаление искажений, связанных с состоянием атмосферы: наличием и составом аэрозолей, водяного пара) не производилось по двум причинам: во-первых, разработанная методика допускает колебания спектральных характеристик объектов в значительных пределах; во-вторых, в связи с трудоемкостью процесса (настройка и подбор правильных параметров работы модели).

Второй немаловажный шаг в предварительной обработке – маскирование незначимых пикселей: облачность или дымка. В случае работы с данными *Landsat TM-ETM+* удаление облачности и снега сводится к применению специально разработанных алгоритмов. Для подготовки данных архива был выбран алгоритм *Fmask*, поскольку он обладает высокой точностью и позволяет удалять тени от облаков со снимков [126; 139; 149; 160; 161; 181].

При обнаружении расхождений пространственного положения снимков производилась их корегистрация (сопоставление географического положения). Поскольку ошибки пространственного положения снимков были обнаружены для данных *Landsat MSS* до 1990 г. с пространственным разрешением 60 м, то осуществлялась их коррекция по более новым снимкам с пространственным разрешением 30 м. Для геометрической коррекции был использован инструмент

ENVI Automatic Image to Image Registration, который автоматически подбирает связующие точки и позволяет оценить погрешность ко-регистрации изображений [136].

Первоочередной задачей при дешифрировании космических снимков является **выделение объекта дешифрирования**. Это определяет используемые данные, приемы и методы дешифрирования, а также классификационную схему, в которой будут представлены выходные карты.

В мировой практике региональные, национальные и глобальные карты структуры земель широко распространены и носят название *Land Use / Land Cover Maps*. Они используются не только как инструмент мониторинга, но и в качестве входных данных для моделей динамики структуры земель, гидрологических или климатических моделей. В настоящее время существует большое количество подходов к созданию таких материалов. Их общая черта заключается в том, что все они формируются на основе данных ДЗЗ с помощью дешифрирования, большинство – методами машинного обучения.

Таблица 2.5 демонстрирует тот факт, что используемая классификационная схема является модификацией общепринятой схемы Андерсона и близка к *Corine Land Cover* [124; 130], соотнесена с видами земель, принятыми в Кодексе Республики Беларусь о земле [40]. Следует отметить, что в класс пахотных земель также попадают улучшенные луговые земли, поскольку эти угодья имеют общий дешифровочный признак – наличие распашки [74].

Таблица 2.5

Сравнение классификационной схемы видов земель с наиболее распространенными в мире

Земли	Классификационная схема		
	<i>Corine Land Cover</i> [124]	<i>Copernicus Land Cover Classification</i> [148; 162]	<i>GlobeLand30</i> [142]
Под застройкой и общего пользования	1.1 – земли под жилой застройкой	Застроенные земли	Искусственные поверхности
Пахотные	2.1 – пахотные земли	Пахотные земли, мозаика пахотных и луговых земель	Возделываемые земли
Луговые	3.2 – естественные луга	Травянистая растительность, луга, мозаика луговых и ДКР	Естественные луга

Земли	Классификационная схема		
	<i>Corine Land Cover</i> [124]	<i>Copernicus Land Cover Classification</i> [148; 162]	<i>GlobeLand30</i> [142]
Лесные	3.1 – лесные земли	Двенадцать типов лесов, в том числе ДКР	Леса
Под ДКР	3.2 – переходные от лесов к ДКР		
Под болотами	4.1 – торфяные болота	Травяные болота, лесные болота	Болота
Под водными объектами	5.1 – земли под водными объектами	Постоянные водные объекты	Водные объекты
Под дорогами и иными транспортными коммуникациями	1.2 – земли под промышленной застройкой, коммуникациями	–	Искусственные поверхности

Основным принципом дешифрирования, применяемым в данном исследовании, является пошаговое выделение целевых классов от наиболее простых к сложным с точки зрения автоматического или полуавтоматического распознавания, с маскированием уже опознанных на каждом шаге обработки (рис. 2.1). Такой подход позволяет повысить качество дешифрирования за счет отделения масками пикселей, заведомо относящихся к различным классам. Кроме того, становится возможным использовать изображения, снятые в различные периоды года и восполнять пропуски, возникающие из-за облачности или дефектов съемочной аппаратуры. После обработки все классы объединяются в цифровой растровый слой.

Дешифрирование производится по композитам спектральных каналов (в том числе мультитременным композитам) и индексным изображениям в пределах каждой пятилетки в период с 1975 по 2017 г. Для распознавания видов земель на различных этапах обработки были использованы различные приемы: классификация с обучением по мультитременному композиту, отсечение по пороговому значению индекса, анализ хода спектральных индексов в течение вегетационного сезона. Для классификации с обучением был выбран способ максимального правдоподобия, который предполагает, что статистические данные для каждого класса, заданного пользователем, в каждом канале имеют нормальное или близкое к нему распределение и допускают некоторое перекрытие гистограмм распределения яркостей классов.

Выделение земель под застройкой и земель общего пользования, земель под дорогами и иными транспортными коммуникациями

производилось с использованием слоя населенных пунктов и дорог *OpenStreetMap* [24], отредактированного по актуальным для рассматриваемого временного интервала снимкам *Landsat*.

Для выделения земель под водными объектами был использован разностный нормализованный индекс влажности – *NDWI* [108; 164]:

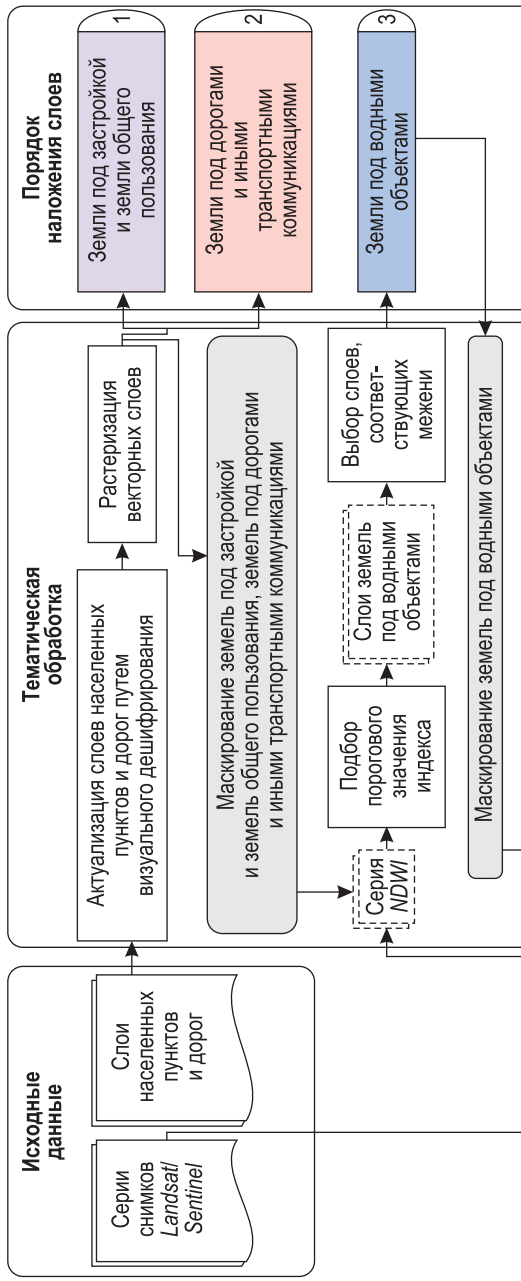
$$NDWI = \frac{(\rho_{green} - \rho_{NIR})}{(\rho_{green} + \rho_{NIR})},$$

где ρ_{green} – яркость пиксела в зеленой области спектра; ρ_{NIR} – яркость пиксела в ближней инфракрасной области спектра.

Нормализованный индекс влажности создан с учетом следующих особенностей отражения объектов, занятых водными объектами: относительно высокое отражение водой в сине-зеленой части спектра, относительно высокое поглощение в ближней инфракрасной части, особенно в сравнении с растительностью или открытыми почвами [46; 157]. Таким образом, земли под водными объектами четко выделяются по положительным значениям индекса (рис. 2.2). Для выделения контуров данного вида земель использовались снимки за период летней межени (июнь – сентябрь).

Далее маска с выделенными уже видами земель применялась к остальным снимкам на данную территорию. Ошибки выделения класса водных объектов могут быть связаны с неудачным выбором снимка: водные поверхности эвтрофированных водоемов могут распознаваться как растительность; часть водоемов закрыта облачностью. Чтобы избежать этого, выделение водных объектов производилось минимум по двум сценам.

Для разделения лесных земель и земель под ДКР, земель под болотами, а также других видов земель использовались мультиспектральные композиты снимков, имеющихся на данную область, с дополнительным каналом – *NDWI*. Производилась классификация с обучением по методу максимального правдоподобия. Создание обучающих выборок (эталонов) осуществлялось по синтезу с использованием видимых ближнего и среднего инфракрасных каналов, которые облегчают визуальное различение типов растительности [29; 38]. Для первой итерации дешифрирования создавались эталоны, фиксирующие различное состояние поверхности: открытые сухие почвы, открытые влажные почвы, травянистая растительность, леса хвойные, смешанные и лиственные, переувлажненные земли с разреженной растительностью (рис. 2.3).



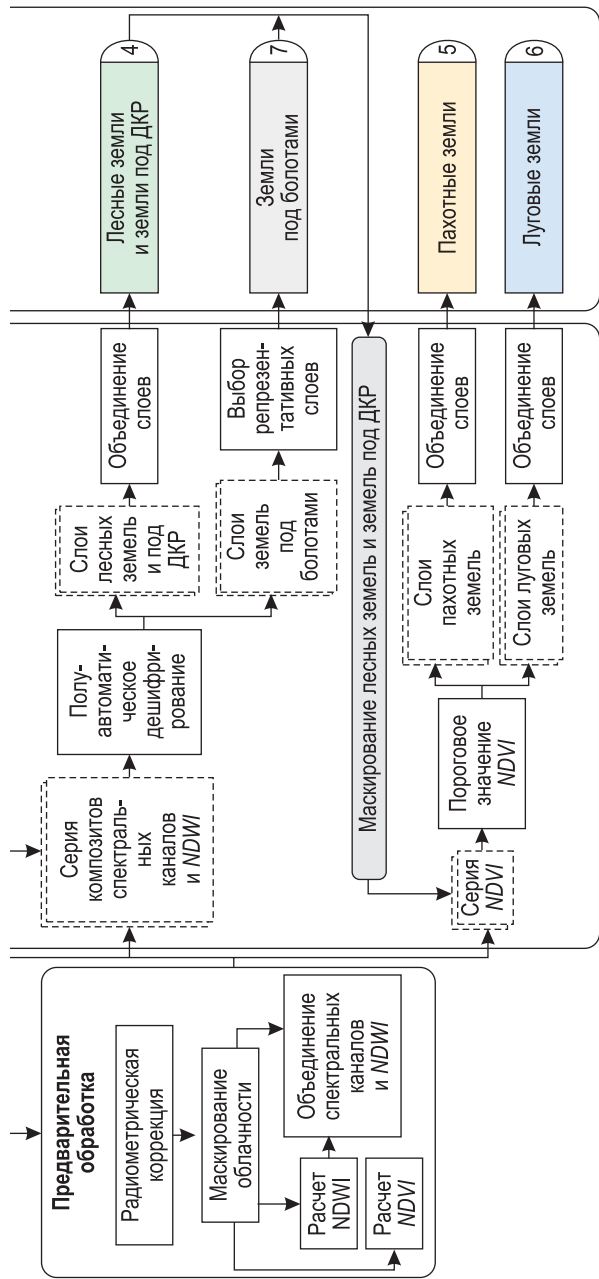


Рис. 2.1. Структурно-логическая схема методики дешифрирования видов земель

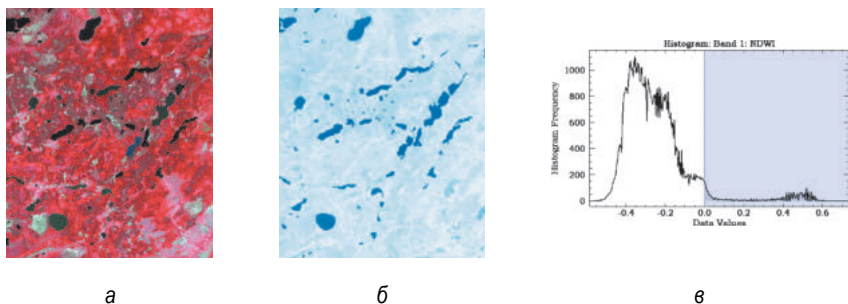


Рис. 2.2. Выделение земель под водными объектами по индексу *NDWI* (Витебская область):
 а – снимок *Landsat 7 ETM+* от 29 июля 2002 г.; б – полутоновое отображение индекса *NDWI*; в – гистограмма значений *NDWI* (значения выше 0 соответствуют открытой водной поверхности)

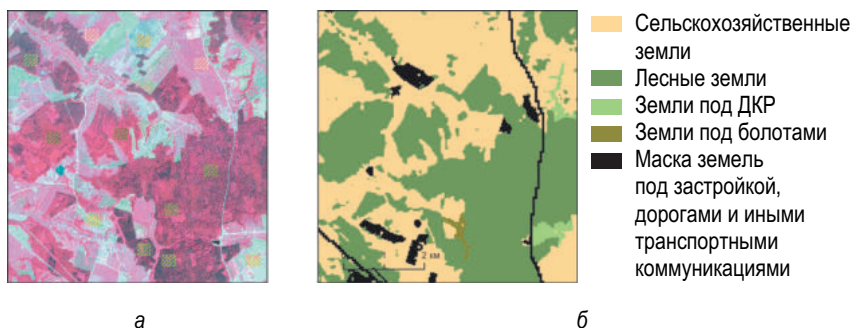


Рис. 2.3. Выделение лесных земель, земель под болотами и под ДКР (Минская область):
 а – снимок *Sentinel-2* от 31 июля 2017 г. с эталонами;
 б – результат дешифрирования

Следует отметить, что выделяемые объекты не соответствуют классификатору видов земель, а только фиксируют присутствие тех или иных объектов на земной поверхности. Выделение сухих и влажных почв в отдельные эталоны помогает избежать ошибочного отнесения влажных почв (например, после дождя) к землям под болотами. Эталоны для различных типов лесов уменьшают «перепутывание» их с другими землями. При наличии на снимках растительности с разной интенсивностью вегетации дополнительно набирались эталоны для сильно и слабо вегетирующей растительности.

Обучающие выборки анализировались на различимость по показателю трансформированной дивергенции: значение параметра колеблется от 0 до 2, при этом приемлемым выступает значение более 1,8 [165]. Если для набранных эталонов показатель разделимости опускался ниже граничного, они забраковывались, и процедура повторялась. На второй итерации только в контурах выделенных на первой итерации целевых видов земель (лесные земли, земли под ДКР, а также земли под болотами) проводилось повторное дешифрирование для уточнения границ между ними. Далее найденные классы объединяли согласно определенным ранее видам земель: лесные земли и земли под ДКР (леса хвойные, смешанные и лиственные), под болотами (переувлажненные земли с характерной растительностью).

Принцип разделения пахотных и луговых земель опирается на особенности сезонной динамики вегетации [79; 147]. Пашня дважды в год, т. е. в пределах вегетационного сезона, оказывается открытой (в период сева: май – апрель (или сентябрь – ноябрь для озимых), и в период уборки: август – октябрь), поэтому при наличии снимков на эти характерные моменты вегетации, а также нескольких снимков между ними, возможно отделить пахотные земли от луговых по динамике *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index* – ‘нормализованный разностный индекс вегетации’; (2.1)) [108; 164]. Индекс принимает значения от –1 до 1, при этом области с активной вегетацией будут иметь значения больше 0–0,2:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})}, \quad (2.1)$$

где ρ_{NIR} – яркость пиксела в красной области спектра; ρ_{red} – яркость пиксела в ближней инфракрасной области спектра.

На рис. 2.4 приведен мультитременной композит *NDVI* – многоканальное изображение, в качестве каналов которого использованы изображения *NDVI* за разные даты. При отображении такого композита в качестве цветного изображения пахотные земли оказываются ярко окрашены (рис. 2.4, а, в), поскольку в течение вегетационного сезона *NDVI* принимает низкие значения на распаханной почве (равносильно низким значениям яркости пикселей в одном из каналов). Луговые земли не испытывают резких колебаний *NDVI* после начала вегетационного сезона, поэтому отображаются светлыми оттенками розового, голубого или зеленого (рис. 2.4, а, г), т. е. все каналы имеют высокие значения яркости пикселей.

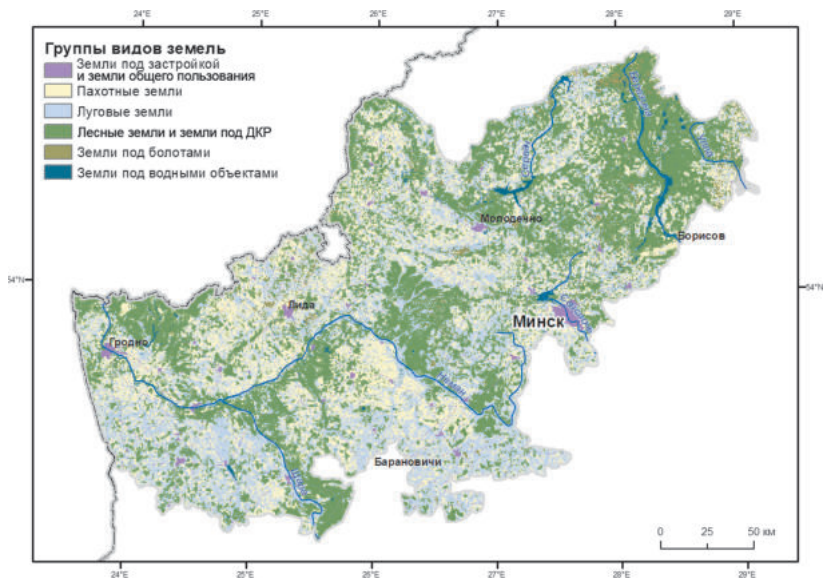


Рис. 2.5. Карта видов земель Западно-Белорусской провинции для 1975–1978 гг., составленная по данным ДЗЗ

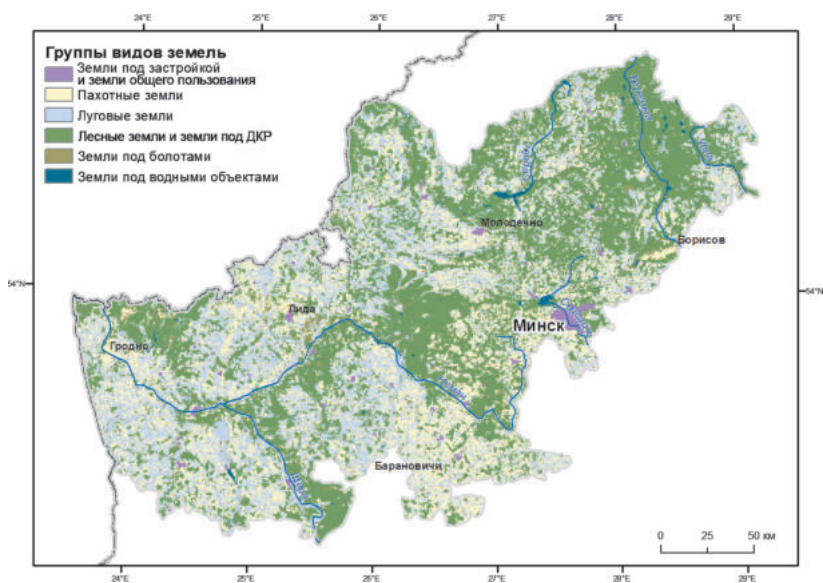


Рис. 2.6. Карта видов земель Западно-Белорусской провинции для 1987–1989 гг., составленная по данным ДЗЗ

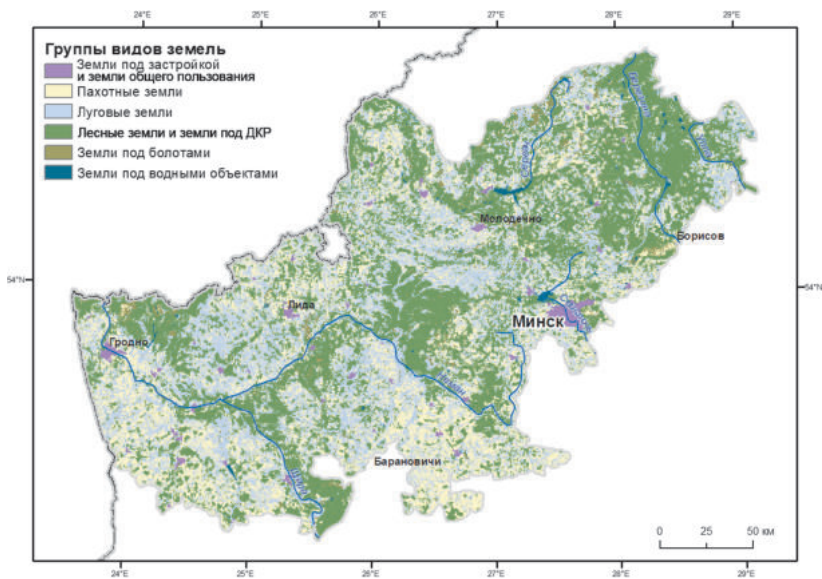


Рис. 2.7. Карта видов земель Западно-Белорусской провинции для 1990–1994 гг., составленная по данным ДЗЗ

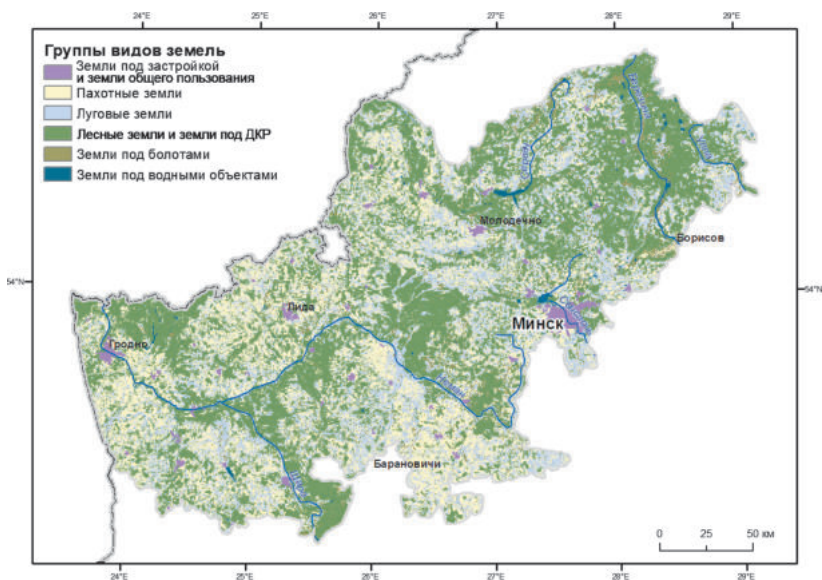


Рис. 2.8. Карта видов земель Западно-Белорусской провинции для 1998–1999 гг., составленная по данным ДЗЗ

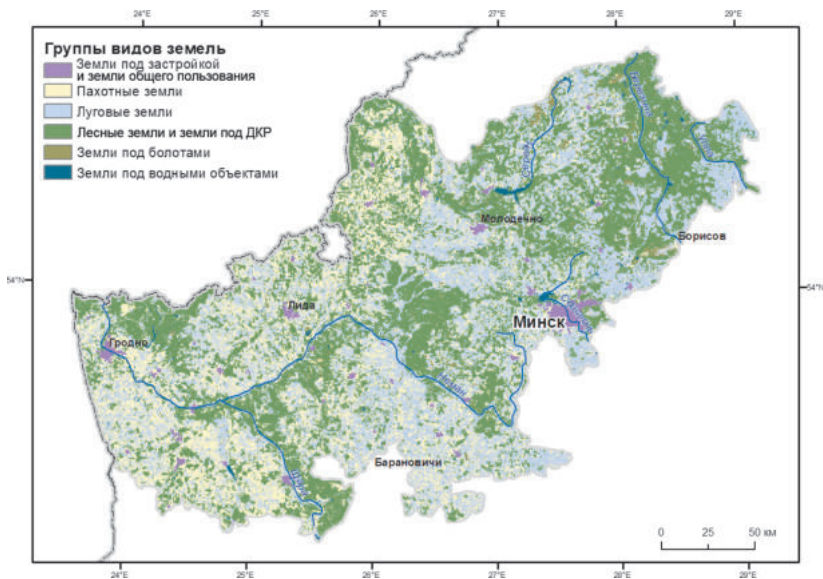


Рис. 2.9. Карта видов земель Западно-Белорусской провинции для 2000–2004 гг., составленная по данным ДЗЗ

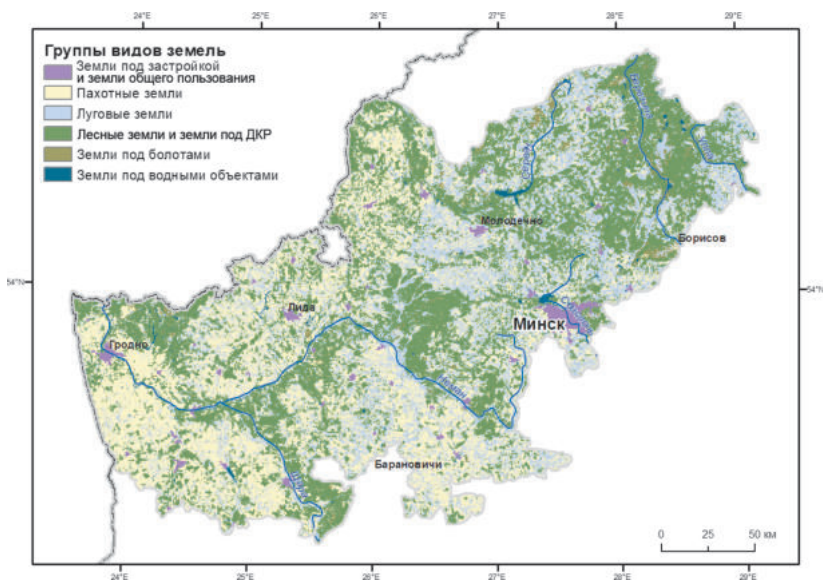


Рис. 2.10. Карта видов земель Западно-Белорусской провинции для 2005–2009 гг., составленная по данным ДЗЗ

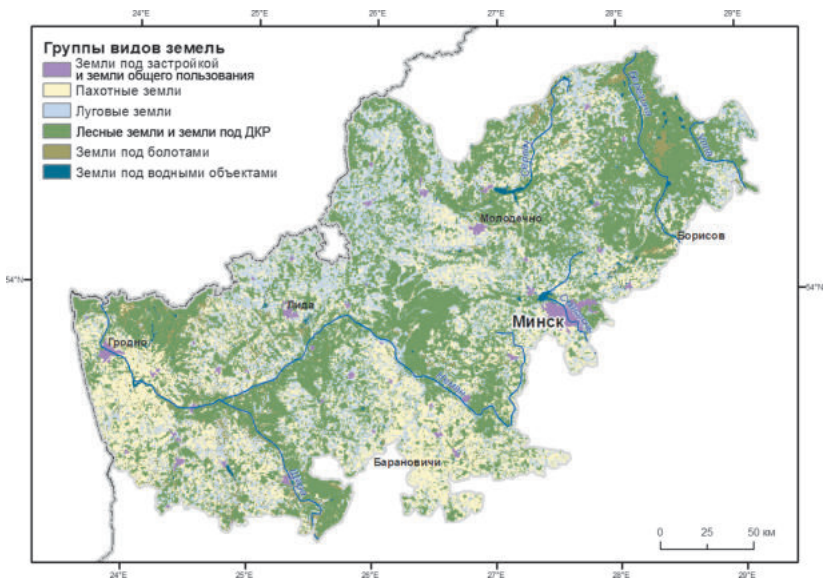


Рис. 2.11. Карта видов земель Западно-Белорусской провинции для 2010–2014 гг., составленная по данным ДЗЗ

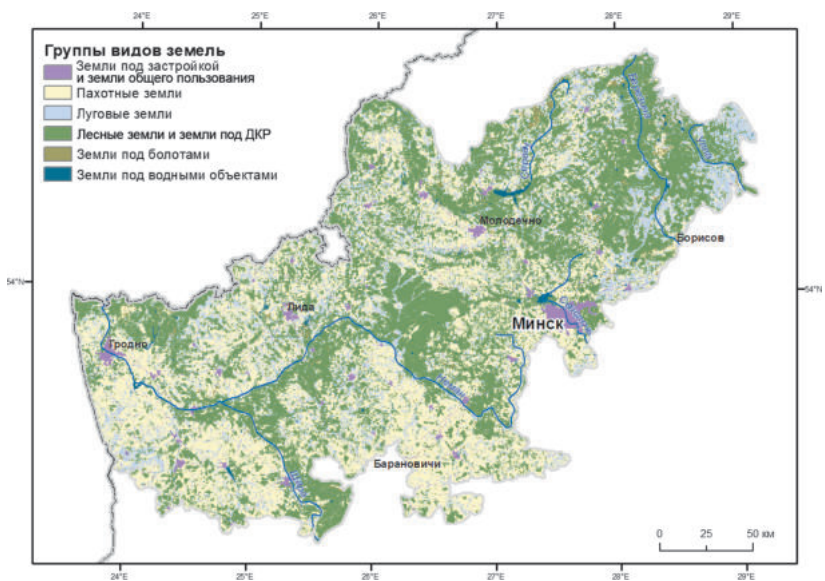


Рис. 2.12. Карта видов земель Западно-Белорусской провинции для 2015–2017 гг., составленная по данным ДЗЗ

Полученные на каждом шаге результаты дешифрирования представляют собой непересекающиеся растровые слои, соответствующие одному из видов земель. Для составления **итоговой цифровой карты видов земель** они собираются и последовательно накладываются друг на друга. Результирующие карты приведены на рис. 2.5–2.12.

2.3

Оценка точности результатов дешифрирования

Необходимый этап работ – определение точности результатов дешифрирования. Оценка точности важна не только для изучения выходных данных с точки зрения их качества, но и для разработки алгоритмов тематической обработки, например при сравнении результатов, полученных разными методами. Точность дешифрирования может быть определена несколькими способами, наиболее простой из них – визуальный контроль результатов. Этот метод не связан с количественной оценкой полученных материалов, однако помогает избежать грубых ошибок при дешифрировании: назначение неверных имен классов, объединение классов. Сопоставление со статистическими (некартографическими) данными подразумевает сравнение полученных численных характеристик классов (площадей, процентных соотношений) с доступными материалами регистров, реестров, кадастров, баз данных или других исследований. Метод создания разностных изображений, рассмотренный ранее как способ поиска изменений, также используется для сопоставления данных одной и той же территории. При условии близкого пространственного разрешения карт, одинаковых легенд результат представляет собой бинарное изображение, где один класс соответствует совпадениям в данных, а другой – расхождениям. Наибольшее распространение получила оценка качества дешифрирования в виде матрицы ошибок [38; 96; 127]. Этот метод является количественным и подразумевает сравнение двух наборов пространственных данных: проверяемого и контрольного.

В данном исследовании были использованы два подхода оценки точности: сравнение результатов дешифрирования с данными ГЗК и расчет матрицы ошибок по наземным и доступным картографическим данным.

Оценка точности результатов дешифрирования с помощью матрицы ошибок. Матрица ошибок представляет собой таблицу $N \times N$, где N – количество классов. По одной из осей матрицы записываются названия классов легенды проверяемого набора данных, по второй – классы легенды данных, используемых для проверки. Главная диагональ матрицы показывает, где расчетные классы и реальные данные совпадают (правильная классификация). Сумма значений диагональных элементов $\sum_{j=1}^N E_{ii}$ показывает общее количество

правильно классифицированных пикселей, а отношение этого количества к общему количеству пикселей в матрице (2.2) называется общей точностью классификации (*Overall Accuracy*) и обычно выражается в процентах [96]:

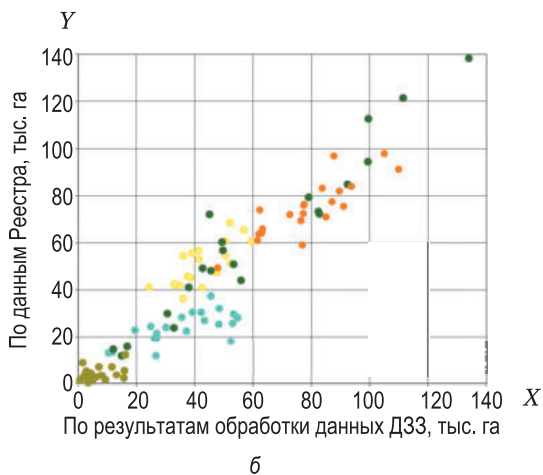
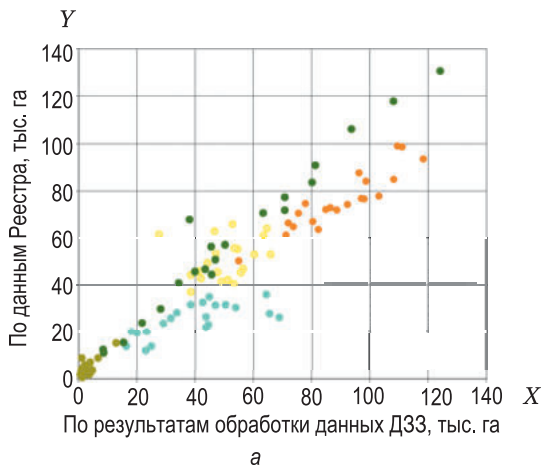
$$Overall Accuracy = \frac{\sum_{j=1}^N E_{ii}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N E_{ij}}, \quad (2.2)$$

где E_{ii} – верно распознанные пиксели; E_{ij} – количество пикселей, принадлежащих классу i и классифицированных как j .

При интерпретации результатов обычно полагается, что проверяемый результат потенциально является неточным, а проверочный набор хорошо отражает реальную ситуацию. В противном случае, если проверочные данные также несовершенны, нельзя говорить об ошибке, следует говорить о разнице между двумя наборами данных. При дешифрировании цифровых снимков оценивают площадь или долю правильно распознанных пикселей.

Точность результатов дешифрирования оценивалась в сравнении с наземными обследованиями, визуальным дешифрированием по снимкам, данными топографических карт масштаба 1 : 100 000 за 1978 г. и ЗИС Новогрудского района. Наземные наблюдения проводились по заранее подготовленным маршрутам на участках, где присутствуют все целевые виды земель. Данные наземных наблюдений по точкам и маршрутам были преобразованы в карты путем интерпретации снимков среднего и высокого разрешения (БКА, *OrbView-3*, панхроматический канал *Landsat*) с учетом материалов наземного дешифрирования.

Средняя точность классификации составила 76,4 %, максимальный показатель для отдельного участка – 88,6 %. Следует отметить,



- Пахотные земли
 - Луговые земли
 - Лесные земли и земли под ДКР
- Земли под болотами
 - Всего сельскохозяйственных земель

Рис. 2.13. Корреляция площадей видов земель, полученных в результате обработки данных ДЗЗ (по X), с площадями, соответствующими видам земель Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь (по Y) по административным районам на территории исследования:
 а – результаты дешифрирования за 2000–2004 гг. (данные Реестра по состоянию на 1 января 2005 г.);
 б – результаты дешифрирования за 2010–2014 гг. (данные Реестра по состоянию на 1 января 2015 г.)

что ожидаемо низкая точность распознавания получена для данных за 1975–1978 гг., так как они имеют относительно низкое пространственное разрешение и только четыре спектральных канала, что существенно ограничивает информативность снимков. Самая высокая точность распознавания получена при сравнении результатов классификации с данными ЗИС.

Помимо рассмотренных подходов к оценке точности, на практике часто используется сопоставление результатов дешифрирования с данными официальной статистики.

Для анализа были выбраны районы, полностью входящие в состав территории исследования. Их общее количество составило 22, из них 14 – в Гродненской области (без Гродно), 7 – в Минской, 1 – в Витебской области. Сопоставление площадей производилось для следующих видов земель: пахотные, луговые, сельскохозяйственные, лесные и под ДКР, под болотами (рис. 2.13).

Результаты сравнения в среднем по провинции показали расхождение в площадях между результатом дешифрирования и данными Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь до 8 %. Наибольшие абсолютные расхождения присущи землям под болотами, что объясняется сложностью их определения и выделения как на снимках, так и на местности. Среди других видов земель заметные различия наблюдаются у луговых и пахотных, что может быть вызвано асинхронностью сопоставляемых данных. Избежать таких несоответствий возможно при использовании дополнительных данных, например снимков с других съемочных систем. Однако это выполнимо только для ограниченного временного периода, поскольку сопоставимого временного ряда наблюдений длиной в 40 лет не имеет ни одна миссия, кроме *Landsat*. Помимо этого, для обеспечения полного покрытия территории снимками даты в пределах одной карты могут отличаться на 5 лет, что тоже вносит дополнительную ошибку. Хорошее совпадение показывают лесные земли и земли под ДКР: среднее отклонение площадей за 2010–2014 гг. равно 2 %. При указанных расхождениях можно видеть сильную корреляционную зависимость между полученными площадями земель. Так, для всех рассмотренных видов земель коэффициент корреляции (r) выше 0,7, минимален он для луговых земель ($r = 0,7$) и максимален для лесных и земель под ДКР ($r = 0,98$).

3

ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ВИДОВ ЗЕМЕЛЬ ЗАПАДНО-БЕЛОРУССКОЙ ПРОВИНЦИИ ЗА 1975–2017 гг. (ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)

3.1

Динамика структуры земель ландшафтов

Анализ структуры и динамики земель в пределах Западно-Белорусской провинции помогает не только выявить основные закономерности этих процессов во времени и пространстве, но и проанализировать факторы, на них влияющие, за счет привлечения информации о ландшафтной структуре.

В зависимости от структуры видов земель и направления ее динамики (закономерностей трансформаций видов земель) ландшафты были разделены на группы. В качестве единицы анализа были использованы контуры ландшафтов с ландшафтной карты Беларуси [14; 49; 92], исследование проводилось на таксономических уровнях с групп родов ландшафтов до видов. Объединение характеристик структуры земель ландшафтов и ее динамичности позволило описать земли ландшафтов более комплексно и разносторонне.

Выделенные группы ландшафтов можно характеризовать как стабильные (не наблюдается значительных колебаний в соотношении площадей видов земель, не сменяются доминантные виды земель) и переходные (с выраженной динамикой структуры земель, тенденцией к переходу из одной группы в другую, смены доминантного вида земель) (рис. 3.1). К первым относятся застроенные (1,7 %), пахотные (8,3 %), лугово-пахотные (24,2 %), лугово-лесные (19,1 %), лесные и болотно-лесные (0,7 %) ландшафты. Всего на них приходится 77,6 % площади Западно-Белорусской провинции. Вторая группа представляет собой переходные ландшафты от лесолу-

говых к лугово-лесным (6,4 %), от пахотно-лесных к лесопольевым (11,7 %), от пахотно-луговых к лугово-пахотным (4,3 %). В сумме на них приходится 22,4 % площади провинции. Переходные ландшафты находятся в процессе смены доминантного вида земель на субдоминантный. В связи с этим в исследовании проанализированы скорость динамики структуры земель и степень антропогенной трансформации земель ландшафтов, выполнена группировка ландшафтов по этим параметрам (рис. 3.2).

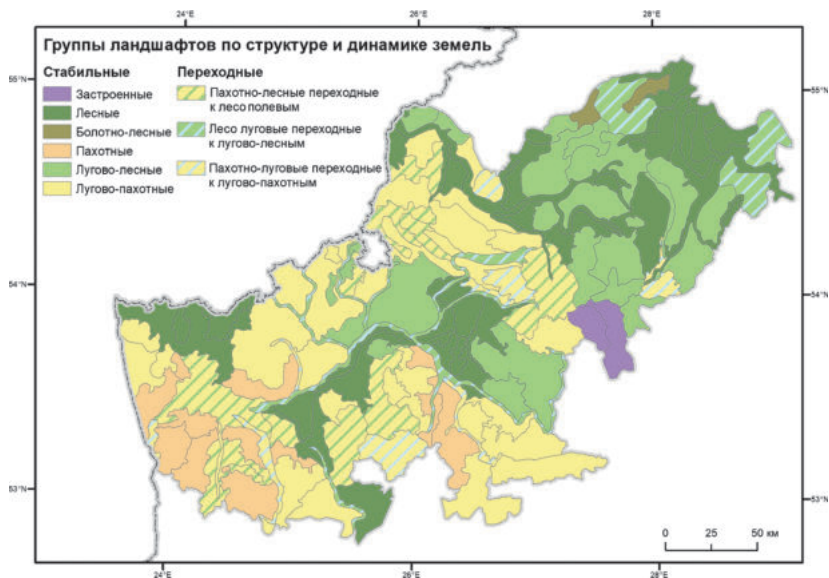


Рис. 3.1. Группы ландшафтов по структуре и динамике структуры земель (ПАЛ) Западно-Белорусской провинции

Для **застроенных ландшафтов** (1,67 % от площади провинции) характерны высокие доли земель под застройкой (более 20 %), при поступательном приросте этого вида земель (рис. 3.3). Сюда отнесены два контура видов ландшафтов, в пределах которых расположен Минск: водно-ледниковый на востоке и холмисто-моренно-эрозионный на западе города. Если в общем для провинции доля застроенных земель изменилась с 0,9 до 1,5 % (установлено по данным ДЗЗ), то для застроенных ландшафтов это изменение составило с 22 до 35 %. Следовательно, структура земель может быть охарактеризована как динамичная.

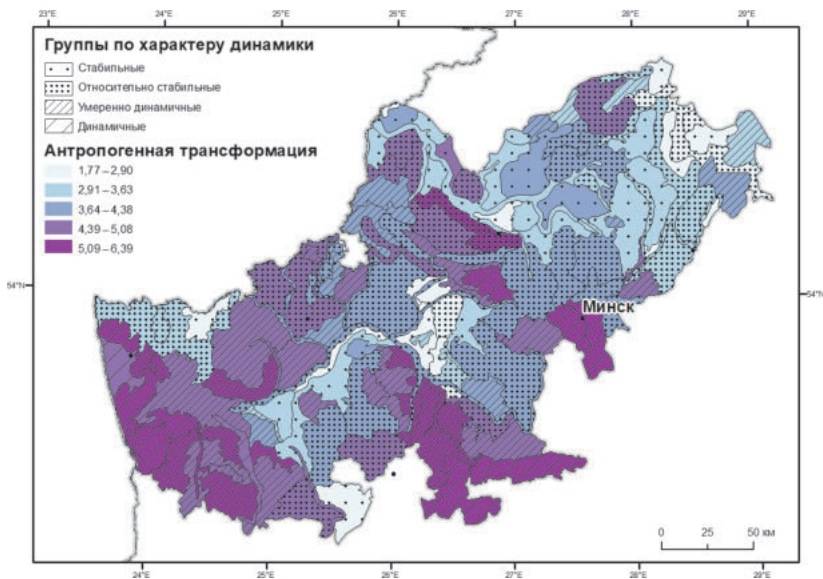


Рис. 3.2. Антропогенная трансформация земель ландшафтов Западно-Белорусской провинции

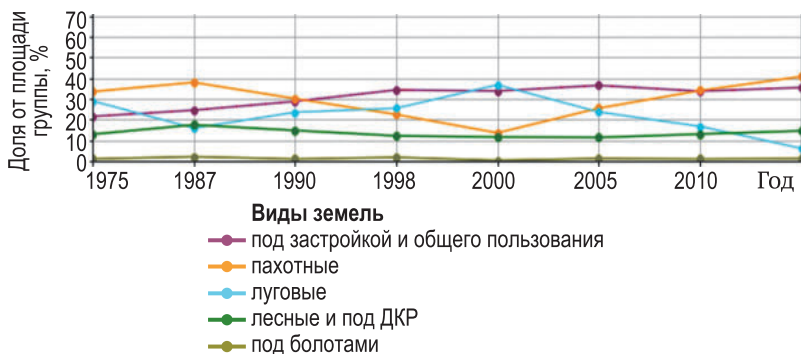


Рис. 3.3. Динамика структуры земель застроенных ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

Пахотные ландшафты (8,3 % площади провинции) отличаются абсолютным преобладанием пашни (более 50 %) над другими видами земель и постепенным ее приростом за период наблюдения при снижении доли луговых земель и стабильных долях других видов земель (рис. 3.4).

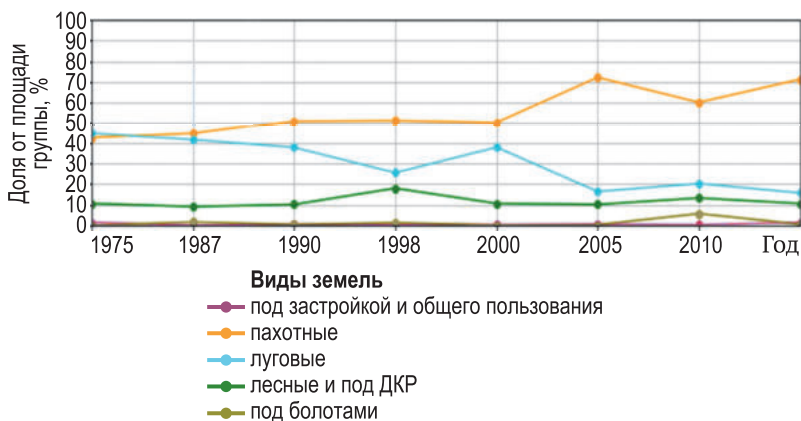


Рис. 3.4. Динамика структуры земель пахотных ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

Пахотные ландшафты распространены на возвышенностях Белорусской гряды: Гродненской, Волковысской, Копыльской, Новогрудской (см. рис. 3.1). Такие ландшафты полностью ограничены верхней и средней ландшафтными ступенями и практически равномерно распределены между доминирующими родами ландшафтов провинции – холмисто-моренно-эрозионными и вторично-моренными. На уровне видов ландшафтов выделяются холмисто-волнистые, на которые приходится более трети описываемой группы (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Ландшафтная структура пахотных ландшафтов Западно-Белорусской провинции, %

Ландшафты	Доля
Возвышенные	44,8
Холмисто-моренно-эрозионные с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми, широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых, местами эродированных почвах, значительно распаханые:	44,8
мелкохолмистые с широколиственно-еловыми, сосновыми, еловыми лесами	19,8
среднехолмисто-увалистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами	10,7
среднехолмисто-грядовые с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми лесами	14,3

Ландшафты	Доля
Средневысотные	55,2
Вторично-моренные с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах, значительно распаханнные:	55,2
волнисто-увалистые с сосновыми, широколиственно-сосновыми-еловыми лесами, внепойменными лугами	12,7
мелкоувалистые с сосновыми, еловыми, дубовыми лесами, внепойменными лугами	2,7
плосковолнистые с сосновыми лесами и внепойменными лугами	2,1
холмисто-волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами	37,7

Для западного кластера пахотных ландшафтов характерны дерново-подзолистые супесчаные почвы, для восточной – дерново-подзолистые на лёссовидных суглинках. Значительная часть пахотных ландшафтов (67 %) была отнесена к умеренно динамичным, остальные – к динамичным (см. рис. 3.2). Это указывает на связь между динамикой структуры земель и антропогенной нагрузкой на ландшафт. Вследствие экстремальной распаханности можно отметить интенсивную линейную эрозию и связанное с ней распространение лесов по оврагам.

В структуре земель **лугово-пахотных ландшафтов**, занимающих 24,2 % провинции (рис. 3.5), преобладает пашня (от 35 до 50 %), далее следуют луга (20–40 %) и леса (20–30 %). В их динамике можно отметить снижение доли пашни в 1987–1989 гг. и ее прирост на современном этапе. Динамика структуры луговых земель повторяет этот тренд с обратным знаком.

Группа отличается большим разнообразием в приуроченности к видам природных ландшафтов, хотя в целом они также занимают ландшафты-доминанты на уровне родов: холмисто-моренно-эрозионные (45,9 %) и вторично-моренные (48,9%) (табл. 3.2).

Территориально лугово-пахотные ландшафты образуют три кластера: северный – соответствует Ошмянской гряде, центральный – почти полностью занимает Лидскую равнину, южный – распространяется на Копыльскую, Новогрудскую, Слонимскую и Гродненскую возвышенности (см. рис. 3.1). В эту группу попадает и долина р. Россь, в значительной мере распаханная. Лугово-пахотные ландшафты со-

седствуют с пахотными и имеют незначительные отличия в физико-географических условиях. Так, для северного кластера с крупно- и среднехолмисто-грядовым рельефом характерны сильно эродированные дерново-подзолистые почвы на суглинистых породах, для центрального кластера с волнистым и волнисто-увалистым рельефом – дерново-подзолистые почвы на слабо завалуненных супесях, нередко глееватые. Данные факторы можно назвать лимитирующими для сельскохозяйственного освоения. Однако южный кластер по условиям практически идентичен пахотным ландшафтам, поэтому отличия в структуре земель можно связать и с административными причинами. Большая доля этих ландшафтов – 48,4 % – приходится на умеренно динамичные, 32,3% – на относительно стабильные, 18 % – динамичные и только 1,3 % – на стабильные ландшафты.

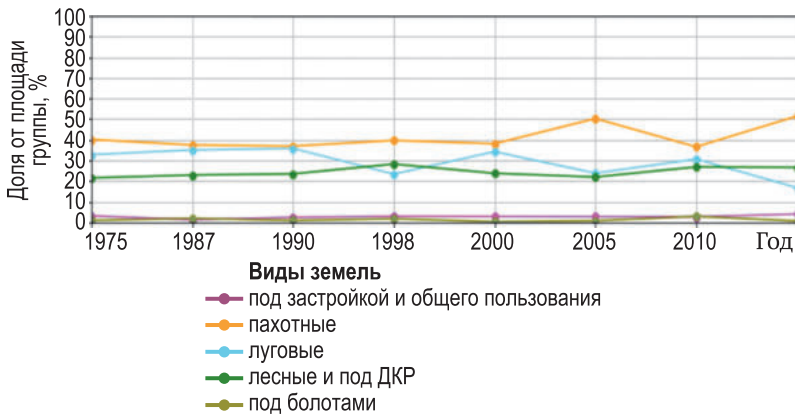


Рис. 3.5. Динамика структуры земель лугово-пахотных ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

Таблица 3.2

**Структура лугово-пахотных ландшафтов
Западно-Белорусской провинции, %**

Ландшафты	Доля
Возвышенные	49,2
Камово-моренные с еловыми, сосновыми, мелколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах, частично распаханые:	3,3
среднехолмисто-грядовые с еловыми, сосновыми, широколиственно-еловыми, березовыми лесами	3,3

Продолжение табл. 3.2

Ландшафты	Доля
Холмисто-моренно-эрозионные с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми, широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых, местами эродированных почвах, значительно распаханые:	45,9
крупнохолмисто-грядовые с еловыми, широколиственно-еловыми, сосновыми лесами	5,3
крупнохолмисто-увалистые с широколиственно-сосново-еловыми и дубовыми лесами	1,4
крупнохолмистые с сосновыми, еловыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами	8,1
мелкохолмисто-грядовые с еловыми, широколиственно-еловыми, сосновыми, широколиственно-сосновыми лесами	9,2
мелкохолмисто-увалистые с фрагментами дубовых лесов, внепойменными лугами	6,1
мелкохолмистые с широколиственно-еловыми, сосновыми, еловыми лесами	6,2
среднехолмисто-увалистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами	1,8
среднехолмисто-грядовые с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми лесами	3,5
среднехолмистые с широколиственно-еловыми, внепойменными лугами	4,3
Средневысотные	50,2
Водно-ледниковые с сосновыми, широколиственно-еловыми, еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, частично распаханые:	1,3
плосковолнистые с сосновыми, широколиственно-сосновыми, березовыми лесами, внепойменными лугами	1,3
Вторично-моренные с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах, значительно распаханые:	48,9
волнисто-увалистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами	11,5
волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми, пушистоберезовыми, черноольховыми лесами	21,0
мелкоувалистые с сосновыми, еловыми, дубовыми лесами, внепойменными лугами	2,6

Ландшафты	Доля
плоские с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми, березовыми лесами, внепойменными лугами	4,0
холмисто-волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами	6,2
холмисто-увалистые с широколиственно-сосновыми, сосновыми, еловыми лесами	3,6
Низменные	0,6
Речные долины с сосновыми, коренными мелколиственными лесами на дерновых заболоченных, торфяно-болотных почвах, ограниченно распаханые:	0,6
долины с плоской поймой, локальными террасами с сосновыми, широколиственно-черноольховыми лесами и пойменными лугами	0,6

Лугово-лесные ландшафты занимают 19,1 % провинции. За весь период наблюдения в них преобладали лесные земли и земли под ДКР (от 45 до 50 %). Доли пахотных и луговых земель практически равны и составляли от 15 до 30 % каждая (рис. 3.6). Кроме того, доля земель под болотами выше, чем в среднем по провинции. Ландшафты этой группы подвержены антропогенным трансформациям вследствие лесохозяйственного (рубка), сельскохозяйственного и транспортного (вырубка под новые транспортные пути, продуктопроводы) использования, часто встречаются торфоразработки. К локальным изменениям можно отнести строительство малых водоемов на оврагах и балках. Прирост лесов осуществляется в основном по старым рубкам, эрозионным формам рельефа.

Лугово-лесные ландшафты образуют два пояса (см. рис. 3.1). Северный протянулся от Минской возвышенности по Кривичской равнине к Вилейской низине, в нем преобладают возвышенные и средневысотные ландшафты: холмисто-моренно-эрозионные и вторично-моренные (табл. 3.3). Другой пояс в центральной части провинции проходит от Столбцовой к Лидской и Вороновской равнинам, прерываясь в долине р. Неман полосой лесных ландшафтов. В нем доминируют средневысотные ландшафты: вторично-моренные и моренно-зандровые. Почти 2/3 лугово-лесных ландшафтов были отнесены к относительно стабильным, 28,7 % – к стабильным и только 7,7 % – к умеренно динамичным.

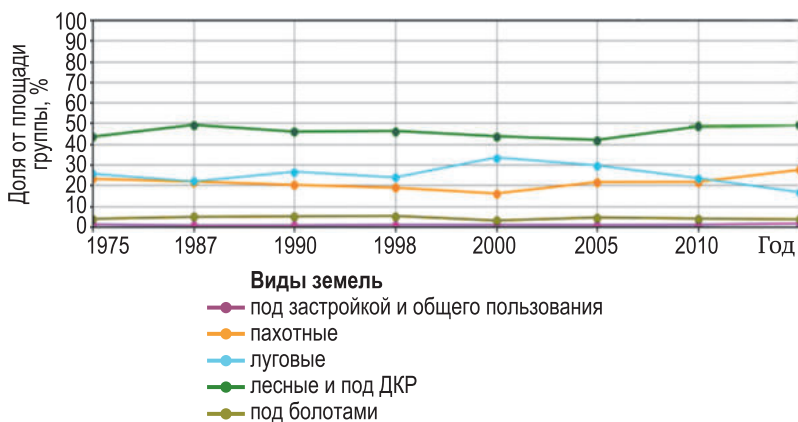


Рис. 3.6. Динамика структуры земель лугово-лесных ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

Таблица 3.3

**Структура лугово-лесных ландшафтов
Западно-Белорусской провинции, %**

Ландшафты	Доля
Возвышенные	28,0
Каменно-моренные с еловыми, сосновыми, мелколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах, частично распаханые:	12,5
мелкохолмистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми, березовыми лесами	6,6
среднехолмисто-грядовые с еловыми, сосновыми, широколиственно-еловыми, березовыми лесами	5,9
Холмисто-моренно-эрозионные с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми, широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых, местами эродированных почвах, значительно распаханые:	15,5
крупнохолмистые с сосновыми, еловыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами	6,3
мелкохолмисто-грядовые с еловыми, широколиственно-еловыми, сосновыми, широколиственно-сосновыми лесами	0,7
мелкохолмистые с широколиственно-еловыми, сосновыми, еловыми лесами	2,9
среднехолмистые с широколиственно-еловыми, внепойменными лугами	5,6

Ландшафты	Доля
Средневысотные	68,3
Водно-ледниковые с сосновыми, широколиственно-еловыми, еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, частично распаханые:	4,0
плосковолнистые с сосновыми, широколиственно-сосновыми, березовыми лесами, внепойменными лугами	2,4
холмисто-волнистые с моренными грядами с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами	1,6
Вторично-моренные с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах, значительно распаханые:	49,6
волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми, пушистоберезовыми, черноольховыми лесами	20,0
плосковолнистые с сосновыми лесами и внепойменными лугами	1,4
холмисто-волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами	14,6
холмисто-увалистые с широколиственно-сосновыми, сосновыми, еловыми лесами	13,6
Моренно-зандровые с широколиственно-еловыми, широколиственно-сосново-еловыми, сосновыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, частично распаханые:	14,7
плосковолнистые с широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами	14,7
Низменные	3,7
Озерно-болотные с болотами и коренными мелколиственными лесами и болотами на торфяно-болотных почвах, ограниченно распаханые:	0,6
плоские с пушистоберезовыми, черноольховыми лесами, переходными и верховыми болотами	0,6
Озерно-ледниковые с сосновыми, мелколиственными, еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, значительно и ограниченно распаханые:	1,7
плосковолнистые с сероольховыми, еловыми, сосновыми, черноольховыми лесами	1,7
Речные долины с сосновыми лесами, коренными мелколиственными лесами на дерновых заболоченных, торфяно-болотных почвах, ограниченно распаханые:	1,4
долины со слабовыраженной поймой, локальными террасами, сосновыми лесами и пойменными лугами	1,4

Главным критерием выделения **лесных ландшафтов**, занимающих 23,6 % Западно-Белорусской провинции, является доля земель под лесами – выше 70 % за весь период наблюдения. Общая тенденция – поступательное увеличение лесистости территории с 70 до 75 % (рис. 3.7). Другие виды земель представлены ограниченно.

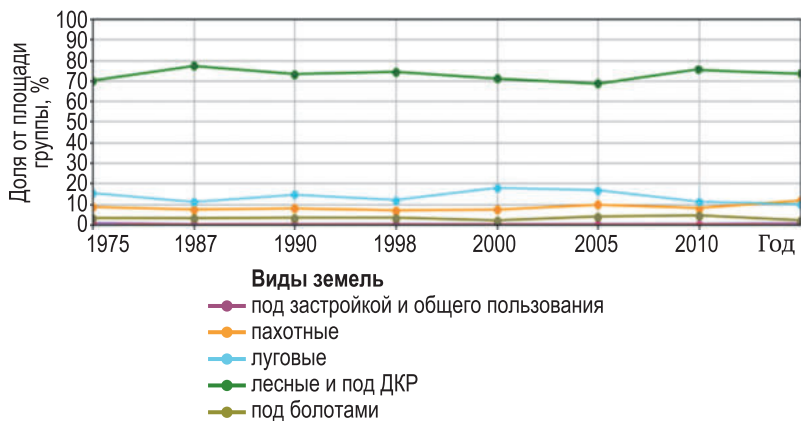


Рис. 3.7. Динамика структуры земель лесных ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

Группа лесных ландшафтов имеет четкую территориальную приуроченность (см. рис. 3.1): Верхнеберезинская равнина, Вилейская низина на севере, Столбцовская равнина, Любчанская низина в центре, Озерская низина на западе и Барановичская равнина на юге. В ландшафтной структуре очевидно тяготение лесной группы к средневысотным и низменным ландшафтам.

На уровне родов доминируют средневысотные водно-ледниковые ландшафты, на которые приходится 40,4 %, но внутри них распределение между видами практически равномерное. Из низменных практически равные доли занимают озерно-болотные и речные ландшафты – в сумме 33,1 % группы. На уровне видов наибольшую территорию занимают низменные речные долины с плоской поймой – 16,4 % (табл. 3.4). Лесные ландшафты на 2/3 представлены стабильной группой, 32,6 % составляют относительно стабильные и только 1,4 % – умеренно динамичные. Важной характеристикой группы является ее закономерное тяготение к крупным ООПТ: Березинский биосферный заповедник, заказники «Налибокский», «Озеры», «Гродненская пуща». Это в значительной мере влияет на современную динамику структуры земель в силу ограничений хозяйственной деятельности в их пределах.

Таблица 3.4

Структура лесных ландшафтов Западно-Белорусской провинции, %

Ландшафты	Доля
Возвышенные	10,1
Камово-моренные с еловыми, сосновыми, мелколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах, частично распаханые:	9,2
крупнохолмисто-грядовые с еловыми лесами	7,1
мелкохолмистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми, березовыми лесами	0,5
среднехолмисто-грядовые с еловыми, сосновыми, широколиственно-еловыми, березовыми лесами	1,6
Холмисто-моренно-эрозионные с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми, широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых, местами эродированных почвах, значительно распаханые:	0,9
среднехолмисто-грядовые с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми лесами	0,8
среднехолмистые с широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами	0,1
Средневысотные	49,7
Водно-ледниковые с сосновыми, широколиственно-еловыми, еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, частично распаханые:	40,4
бугристо-волнистые с озерами, золовыми грядами, сосновыми и еловыми лесами	10,9
волнистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами	7,7
волнистые с камами и золовыми грядами, сосновыми и еловыми лесами	6,4
плоские с сосновыми, широколиственно-сосновыми, пушистоберезовыми лесами	4,0
плосковолнистые с моренными холмами и грядами с сосновыми и широколиственно-еловыми лесами	1,5
плосковолнистые с сосновыми, широколиственно-сосновыми, березовыми лесами, внепойменными лугами	3,4
холмисто-волнистые с моренными грядами с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами	6,5
Вторично-моренные с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах, значительно распаханые:	5,2
волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми, пушистоберезовыми, черноольховыми лесами	0,4

Окончание табл. 3.4

Ландшафты	Доля
плосковолнистые с сосновыми лесами и внепойменными лугами	0,4
холмисто-волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами	4,4
Моренно-зандровые с широколиственно-еловыми, широколиственно-сосново-еловыми, сосновыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, частично распаханые:	4,1
волнисто-увалистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми, березовыми лесами	4,1
Низменные	40,2
Аллювиальные террасированные с сосновыми, мелколиственными лесами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, ограниченно распаханые:	4,2
волнистые с сосновыми лесами	1,6
плоские с сосновыми лесами	2,6
Озерно-болотные с болотами и коренными мелколиственными лесами и болотами на торфяно-болотных почвах, ограниченно распаханые:	16,1
плосковолнистые с минеральными останцами с сосновыми, широколиственно-черноольховыми лесами, переходными болотами	4,3
плоские с пушистоберезовыми, черноольховыми лесами, переходными и верховыми болотами	5,0
плосковолнистые с пушистоберезовыми лесами, низинными и верховыми болотами	6,8
Озерно-ледниковые с сосновыми, мелколиственными, еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, значительно и ограниченно распаханые:	2,9
плоские с котловинами, сосновыми, пушистоберезовыми, черноольховыми лесами	0,3
плосковолнистые с золовыми грядами с еловыми, сосновыми, пушистоберезовыми лесами, внепойменными лугами	2,6
Речные долины с сосновыми лесами, коренными мелколиственными лесами на дерновых заболоченных, торфяно-болотных почвах, ограниченно распаханые:	17,0
долины с плоской поймой, локальными террасами с сосновыми, широколиственно-черноольховыми лесами и пойменными лугами	16,4
долины со слабовыраженной поймой, локальными террасами, сосновыми лесами и пойменными лугами	0,6

К **болотно-лесным ландшафтам** отнесены те, в которых доля болот превышает 10 % от площади контура (втрое выше среднего уровня по провинции) при высоких долях лесов и лугов (рис. 3.8). Такие ландшафты занимают всего 0,7 % провинции. В группу попали два контура озерно-болотных ландшафтов, расположенных на севере Кривичской и Верхнеберезинской равнин (см. рис. 3.1). В их пределах находятся болота Журавлевское (и одноименное разрабатываемое месторождение), Сервечь и Габо [104]. Болотно-лесные ландшафты относятся к умеренно динамичным, что может быть связано как с естественной динамикой структуры земель под болотами и ее зависимостью от климатических условий, так и с хозяйственной деятельностью по разработке торфяников и изменения их гидрологического режима.

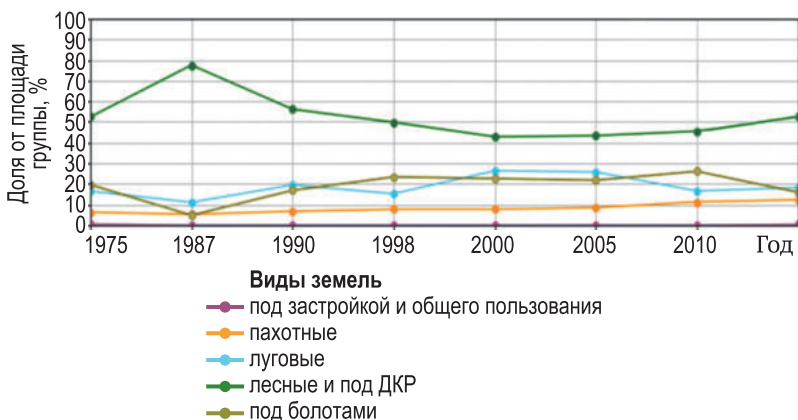


Рис. 3.8. Динамика структуры земель болотно-лесных ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

Общая тенденция, характерная для динамики структуры земель **лесолуговых, переходных к лугово-лесным, ландшафтов**, занимающих 6,4 % провинции, выглядит следующим образом: с 1975 г. они характеризовались преобладанием луговых земель (более 40 %), однако после пика в 2000–2004 гг. доля последних постепенно снижалась. На протяжении всего периода наблюдения субдоминантными видами земель были лесные и под ДКР: с 1975 по 2017 г. их доля поступательно росла с 28 до 40 %, при этом доля пахотных земель колебалась около 20 % и значительно не изменилась (рис. 3.9). В 2015–2017 гг. произошла смена доминирующего вида земель с луговых на лесные.

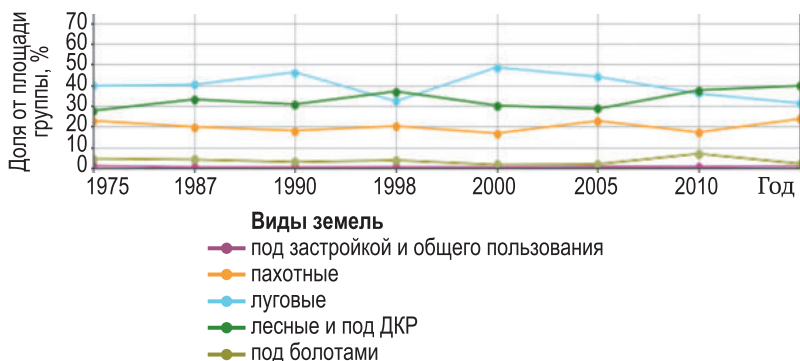


Рис. 3.9. Динамика структуры земель лесостепных, переходных к лугово-лесным, ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

Лесостепные, переходные к лугово-лесным, ландшафты образуют несколько кластеров. На севере провинции они занимают северную оконечность Минской возвышенности и Лукомскую возвышенность. Такой локализацией объясняется преобладание возвышенных ландшафтов (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Структура лесостепных, переходных к лугово-лесным, ландшафтов Западно-Белорусской провинции, %

Ландшафты	Доля
Возвышенные	30,1
Камово-моренные с еловыми, сосновыми, мелколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах, частично распаханые:	15,2
среднехолмисто-грядовые с еловыми, сосновыми, широколиственно-еловыми, березовыми лесами	15,2
Холмисто-моренно-эрозионные с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми, широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых, местами эродированных почвах, значительно распаханые:	14,9
крупнохолмисто-грядовые с еловыми, широколиственно-еловыми, сосновыми лесами	14,9
Средневысотные	22,3
Вторично-моренные с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах, значительно распаханые:	22,3
холмисто-волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами	22,3

Ландшафты	Доля
Низменные	47,6
Речные долины с сосновыми лесами, коренными мелколиственными лесами на дерновых заболоченных, торфяно-болотных почвах, ограниченно распаханные:	47,6
долины с плоской поймой, локальными террасами с сосновыми, широколиственно-черноольховыми лесами и пойменными лугами	38,4
долины со слабовыраженной поймой, локальными террасами, сосновыми лесами и пойменными лугами	9,2

Постепенная смена структуры земель может объясняться снижением хозяйственной нагрузки на ландшафты вследствие образования ООПТ и формирования буферных зон вокруг них. Значительная доля низменных ландшафтов (47,6 %) связана с центральным кластером, который образуют речные долины Немана и его притоков: Исloch, Западная Березина, Гавья, Жижма, Дитва с системой каналов по реке Провожа справа и Сервечь со Щарой слева с плоскими и слабовыраженными поймами. Здесь изменение структуры земель – результат зарастания бывших луговых земель ДКР при отсутствии регулярного сенокосения [59], зарастания бывших торфопеработок [104].

Доминантными по динамике в пределах группы являются относительно стабильные ландшафты (61,6 %), далее следуют умеренно динамичные (34,7 %). К динамичным относится только один контур (3,7 %) в долине р. Щара, окруженный интенсивно обрабатываемыми землями (см. рис. 3.2).

В пахотно-луговых, переходных к лугово-пахотным, ландшафтах, занимающих 4,3 % территории исследования, наблюдается преобладание (иногда более 50 %) луговых земель до 2005 г., потом – быстрый прирост пашни, являющейся субдоминантным видом земель с долей не более 30 %, но к 2015 г. достигшей почти 50 % (рис. 3.10).

Группа пахотно-луговых, переходных к лугово-пахотным, ландшафтов, несмотря на незначительные площади, оказывается довольно разнообразной на всех типологических уровнях (табл. 3.6). Однако можно наблюдать, что на уровне видов ландшафтов доминируют те же, что и для пахотных и лугово-пахотных: холмисто-моренно-эрозийные и вторичноморенные, хотя значительная площадь (18,6 %) приходится и на речные долины. Территориально группа соседствует с пахотными и лугово-пахотными ландшафт-

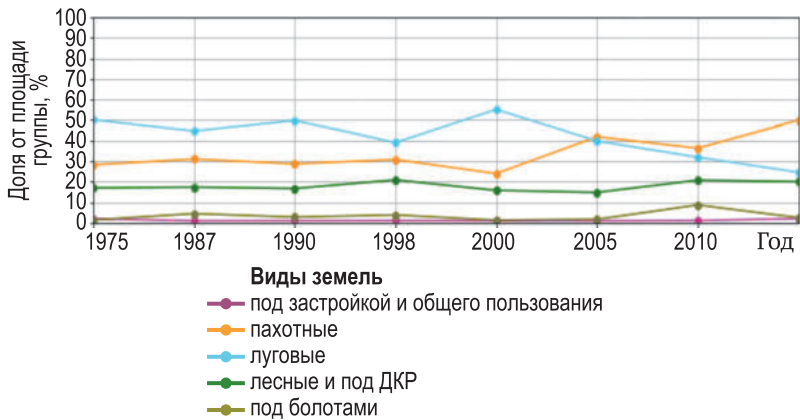


Рис. 3.10. Динамика структуры земель пахотно-луговых, переходных к лугово-пахотным, ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

тами, что еще раз указывает на преобладание административных факторов над физико-географическими в сельскохозяйственном освоении земель в последние годы. Ландшафты равномерно распределяются по динамике: динамичные занимают 34,6 %, умеренно динамичные – 26,5 %, относительно стабильные – 38,9 %. В большинстве контуров этой группы ландшафтов встречаются действующие торфоразработки и выработанные торфяники [104].

Таблица 3.6

Структура пахотно-луговых, переходных к лугово-пахотным, ландшафтов Западно-Белорусской провинции, %

Ландшафты	Доля
Возвышенные	44,5
Холмисто-моренно-эрозионные с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми, широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых, местами эродированных почвах, значительно распаханые:	44,5
мелкохолмисто-увалистые с фрагментами дубовых лесов, внепойменными лугами	44,5
Средневысотные	23,3
Вторично-моренные с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах, значительно распаханые:	12,9
плосковолнистые с сосновыми лесами и внепойменными лугами	2,6

Ландшафты	Доля
холмисто-волнистые с сосновыми, широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами	10,3
Моренно-зандровые с широколиственно-еловыми, широколиственно-сосново-еловыми, сосновыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, частично распаханые:	10,4
волнистые с сосновыми лесами и внепойменными лугами	10,4
Низменные	32,2
Аллювиальные террасированные с сосновыми, мелколиственными лесами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, ограниченно распаханые:	8,4
плоские с сосновыми лесами	8,4
Озерно-болотные с болотами и коренными мелколиственными лесами и болотами на торфяно-болотных почвах, ограниченно распаханые:	5,2
плосковолнистые осушенные с пашней	5,2
Речные долины с сосновыми, коренными мелколиственными лесами на дерновых заболоченных, торфяно-болотных почвах, ограниченно распаханые:	18,6
долины с плоской поймой, локальными террасами с сосновыми, широколиственно-черноольховыми лесами и пойменными лугами	15,8
долины со слабовыраженной поймой, локальными террасами, сосновыми лесами и пойменными лугами	2,8

Самыми распространенными из переходных ландшафтов являются **пахотно-лесные, переходные к лесополевым**, занимающие 11,7 % провинции. Доля лесов в них колеблется в пределах 30–40 %. До 1995 г. доли пашни и лугов были почти равны, после наблюдался прирост пашни до 45 % (рис. 3.11).

Крупные кластеры пахотно-лесных, переходных к лесополевым, ландшафтов находятся на Скидельской низине с озерно-ледниковыми ландшафтами (24,3 % группы), Волковысской, Новогрудской, Минской возвышенностях и Ошмянской гряде с холмисто-моренно-эрозионными ландшафтами. Доля возвышенных ландшафтов в этой группе самая высокая из всех ландшафтов по провинции (табл. 3.7).

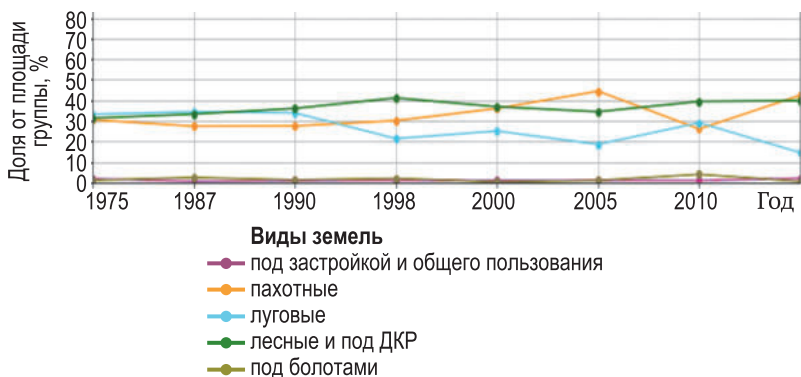


Рис. 3.11. Динамика структуры земель пахотно-лесных, переходных к лесополесным, ландшафтов Западно-Белорусской провинции с 1975 по 2010 г.

Таблица 3.7

Структура пахотно-лесных, переходных к лесополесным, ландшафтов Западно-Белорусской провинции, %

Ландшафты	Доля
Возвышенные	61,6
Холмисто-моренно-эрозионные с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми, широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых, местами эродированных почвах, значительно распаханые:	61,6
крупнохолмисто-грядовые с еловыми, широколиственно-еловыми, сосновыми лесами	28,6
мелкохолмисто-грядовые с еловыми, широколиственно-еловыми, сосновыми, широколиственно-сосновыми лесами	12,0
платообразные с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами	1,4
среднехолмисто-грядовые с широколиственно-сосново-еловыми, еловыми лесами	4,0
среднехолмистые с широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами	15,6
Средневысотные	14,1
Водно-ледниковые с сосновыми, широколиственно-еловыми, еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, частично распаханые:	14,1
волнистые с камами и золовыми грядами с сосновыми и еловыми лесами	6,2

Ландшафты	Доля
плосковолнистые с моренными холмами и грядами с сосновыми и широколиственно-еловыми лесами	7,9
Низменные	24,3
Озерно-ледниковые с сосновыми, мелколиственными, еловыми лесами, внепойменными лугами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, значительно и ограниченно распаханые:	24,3
плоские с золовыми грядами с сосновыми лесами, внепойменными лугами	20,4
плосковолнистые с золовыми грядами с еловыми, сосновыми, пушистоберезовыми лесами, внепойменными лугами	3,9

Группа пахотно-лесных, переходных к лесополевым, ландшафтов локализована в основном на юге и соседствует со смешанными с преобладанием пашни и пахотными ландшафтами (см. рис. 3.1). Среди них относительно стабильных – 54,1 %, умеренно динамичных – 45,9 %.

Систематизация особенностей структуры и динамики структуры земель ландшафтов показывает, что если на формирование структуры земель оказывали влияние прежде всего физико-географические факторы, то на современную динамику структуры земель – сочетание физико-географических и социально-экономических.

В первом приближении нужно отметить распределение сельскохозяйственных земель между высотными ступенями ландшафтов. Так, на пахотные и лугово-пахотные ландшафты на верхней высотной ступени площади приходится 44,6 %; на средней – 36 % и только на нижней – 0,4 %. Лесные и лугово-лесные ландшафты занимают 55,6 % площади на нижней ландшафтной ступени, 53,1% – на средней, 20 % – на верхней. Болотно-лесные ландшафты полностью расположены на нижней ступени. Лугово-лесные и лугово-пахотные тяготеют к средней ландшафтной ступени (табл. 3.8).

Поскольку высотные ступени равнозначны группам родов ландшафтов, имеет смысл рассмотреть тенденции по родам ландшафтов, определяемых генезисом и временем образования, дополнительно – литологией поверхностных отложений.

Среди родов ландшафтов на холмисто-моренно-эрозионные приходится 44,8 % пахотных, 45,9 % лугово-пахотных, на вторично-моренные – 55,2 и 48,9 % соответственно. Обнаруживается дифференциация

ция по почвенному покрову: пахотные ландшафты тяготеют к почвам на суглинистых, иногда лёссовидных, средне- и сильно эродированных породах, лугово-пахотные – к супесчаным и суглинистым, иногда глееватым почвам, переходные к лесополевым и лугово-пахотным – к супесчаным и суглинистым, глееватым и глеевым. Последняя закономерность прослеживается и в структуре групп родов ландшафтов: пахотные и лугово-пахотные одинаково часто встречаются на верхней и средней ландшафтных ступенях, но практически отсутствуют на нижней, в то время как 32,2 % пахотно-луговых, переходных к лугово-пахотным, находятся на нижней ландшафтной ступени.

Таблица 3.8

Распределение групп ПАЛ Западно-Белорусской провинции по родам природных ландшафтов, % от группы

Группы ПАЛ	Ландшафты								
	Стабильные					Переходные			
	Застроенные	Лесные	Болотно-лесные	Лугово-лесные	Лугово-пахотные	Пахотные	От лесолуговых к лугово-лесным	От пахотно-лесных к лесополевым	От пахотно-луговых к лугово-пахотным
Низменные	–	40,2	100	3,7	0,6	–	47,6	24,3	32,2
Аллювиальные террасированные	–	4,3	–	–	–	–	–	–	8,4
Озерно-болотные	–	16,0	100	0,6	–	–	–	–	5,2
Озерно-ледниковые	–	2,9	–	1,7	–	–	–	24,3	–
Речные долины	–	17,0	–	1,4	0,6	–	47,6	–	18,6
Средневысотные	60,8	49,7	–	68,3	50,2	55,2	22,3	14,1	23,3
Водно-ледниковые	60,8	40,4	–	4,0	1,3	–	–	14,1	–
Вторичноморенные	–	5,2	–	49,6	48,9	55,2	22,3	–	12,8
Моренно-зандровые	–	4,1	–	14,7	–	–	–	–	10,5
Возвышенные	39,2	10,1	–	28,0	49,2	44,8	30,1	61,6	44,5
Камово-моренные	–	9,2	–	12,5	3,3	–	15,3	–	–
Холмисто-моренно-эрозионные	39,2	0,9	–	15,5	45,9	44,8	14,8	61,6	44,5
<i>Итого</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100

В одной из самых распространенных групп – лесных ландшафтах – 40,4 % приходится на водно-ледниковые долины, 17 % – на речные. Лугово-лесные ландшафты приурочены главным образом ко вторично-моренным (49,6 %), холмисто-моренно-эрозионным (15,5 %) и моренно-зандровым (14,7 %) ландшафтам. Лесолуговые, переходные к лугово-лесным, ландшафты тяготеют к речным долинам (47,6 %), что не наблюдается больше ни в одной из групп.

Таким образом, можно говорить о прямом влиянии генезиса и литологии поверхностных отложений, а вслед за ними – почвенных условий на формирование структуры земель территории исследования.

При рассмотрении тенденций трансформаций земель внутри ландшафтов также обнаруживаются некоторые закономерности. При общем увеличении площади пашни на 488 тыс. га 70 % этого прироста пришлось на пахотные, лугово-пахотные, пахотно-лесные, переходные к лесополевым, и пахотно-луговые, переходные к лугово-пахотным, ландшафты и, соответственно, на преобладающие среди них роды ландшафтов – холмисто-моренно-эрозионные (41 %) и вторично-моренные (25 %). Рост площадей пахотных земель в названных ландшафтах практически полностью осуществлялся за счет луговых. Незначительная убыль пашни наблюдается в отдельных контурах лесных, лесолуговых, переходных к лугово-лесным, и собственно в лугово-лесных ландшафтах (до 2 %).

На уровне групп родов ландшафтов обнаруживается преобладание стабильных ландшафтов на средней ландшафтной ступени (91,3 %), на других это соотношение составляет 65 на 35 %. Для вторично-моренных ландшафтов их доля даже выше – 93,2 %. Существенно выше среднего доля переходных ландшафтов среди низменных озерно-ледниковых ландшафтов (73,8 %) и комплексов речных долин (46,4 %).

Важно отметить отсутствие на современном этапе группы ландшафтов, в которой преобладают луга. Есть две стабильные группы, где луговые земли являются субдоминантами (лугово-лесные и лугово-пахотные), и две переходные, в одной из которых отмечена тенденция к трансформации луговых земель в пахотные (4,3 % провинции), в другой – в лесные (6,4 % провинции). Убыль луговых земель (в сумме 667 тыс. га) наблюдается во всех ландшафтах. При этом 2/3 бывших луговых земель трансформированы в пахотные и 1/3 – в лесные. Лидеры по убыли – лугово-пахотные ландшафты (215 тыс. га, или 18 % площади группы), пахотные (120 тыс. га, или 29 %) и луго-

во-лесные (100 тыс. га, или 10 %). Абсолютные значения в первых двух группах практически равны показателям прироста пашни, в третьей – половине этого значения.

Прирост лесных земель (201 тыс. га) наблюдается практически повсеместно, за исключением пахотных ландшафтов. Наиболее масштабен он не в лесных (23 тыс. га), а в лугово-пахотных (58 тыс. га) и лугово-лесных (49 тыс. га) ландшафтах. По относительным значениям прироста лидируют лесолуговые, переходные к лугово-лесным, (+7,5 % площади группы), пахотно-лесные, переходные к лесопольным (+6,4 %, при этом прирост пахотных земель почти вдвое выше – 11,3 %), лугово-лесные (+5,53 %). За счет этих групп увеличение лесистости наблюдается во вторично-моренных (13,4 % общего прироста), в моренно-зандровых (10 %) ландшафтах и речных долинах (11,3 %). Единственной группой, в которой имеется небольшой прирост луговых земель, являются болотно-лесные ландшафты.

При общей убыли земель под болотами (–11,6 тыс. га) лидером по их потере выступают лесолуговые, переходные к лугово-лесным, ландшафты (11,2 тыс. га, или 3,95 % площади группы), где происходит трансформация земель под болотами и лугов в лесные. При этом наблюдается небольшой прирост болот в лугово-лесных ландшафтах.

В целом фиксируется увеличение сельскохозяйственной освоенности ранее сильно распаханых ландшафтов и включение в этот процесс соседних с ними до этого менее освоенных речных долин, аллювиальных террасированных, озерно-ледниковых и водно-ледниковых ландшафтов. Об этом свидетельствует и более высокая доля переходных ландшафтов на нижней ландшафтной ступени (34 % группы) по сравнению со стабильными (24 % группы). Во всех ландшафтах наблюдается убыль луговых земель, во-первых, за счет их распахивания, во-вторых, ввиду их зарастания лесами и ДКР. Наиболее интенсивный прирост лесных земель происходит на бывших сельскохозяйственных угодьях, тогда как в пределах природоохраненных территорий структура земель стабилизировалась и значительно не меняется.

Как следствие, прослеживается корреляция (коэффициент ранговой корреляции Спирмена – 0,98) между насыщенностью ландшафтов антропогенно-преобразованными видами земель (антропогенной трансформацией ландшафта) и характером динамики: чем выше коэффициент антропогенной трансформации, тем динамичнее ландшафты (см. рис. 3.2; табл. 3.9).

Таблица 3.9

**Значение коэффициента антропогенной трансформации
для групп ландшафтов по характеру динамических процессов
в Западно-Белорусской провинции**

Группы ландшафтов	Среднее значение коэффициента
Динамичные	5,29
Умеренно динамичные	4,61
Относительно стабильные	3,92
Стабильные	3,05

Как было показано ранее, тенденции трансформации земель имеют пространственные закономерности распределения в пределах провинции, связанные с разнообразием ландшафтных условий в ее пределах. Масштаб исследования позволяет проследить данные закономерности более подробно, чем на уровне видов ландшафтов и административных районов. В связи с этим следующим этапом анализа стало составление **синтетической карты**, отражающей различные направления динамики структуры земель для отдельных их контуров на основе статистики о преобладающих видах земель и их преобразований в другие виды на протяжении 1975–2017 гг. (рис. 3.12).

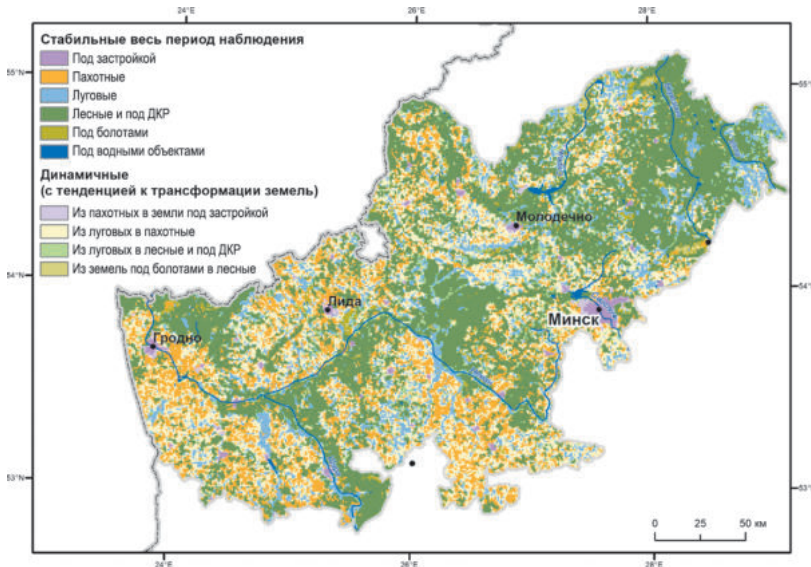


Рис. 3.12. Распространение типов динамики структуры земель Западно-Белорусской провинции

По аналогии с группами ПАЛ можно разделить земли провинции на стабильные и динамичные. Стабильные, для которых за весь период наблюдения не отмечено переходов из одного вида в другой (преобладает один из картографируемых видов земель), являются доминантными и занимают 71,5 % площади провинции. Из них наиболее распространены стабильные лесные земли и земли под ДКР – 40 % провинции. Их распространение практически полностью совпадает с распространением лесных ландшафтов: Верхнеберезинская равнина, Вилейская низина на севере, Столбцовская равнина, Любчанская, Скидельская низины в центре, Озерская низина на западе и Барановичская равнина на юге. Далее следуют пахотные (16,8 %) и луговые (11,4 %) стабильные типы. При этом пахотные земли преобладают в южной части провинции: Гродненская, Волковысская возвышенности, Копыльская гряда, Лидская равнина. Луговые земли встречаются кластерами на севере (Верхнеберезинская равнина, Вилейская низина) и в пределах ООПТ (Березинский биосферный заповедник, заказники «Ордашинский», «Свислочь», «Миранка»), по долинам рек (верхнее течение Западной Березины, среднее течение Немана, Щара, Зельвянка). Стабильные земли под болотами и водными объектами занимают 1,8 % в сумме, стабильные под застройкой (1 %) соответствуют ядрам городов.

Динамичные типы занимают в сумме 28,5 % от территории провинции. Большая часть из них (21,4 %) приходится на трансформации луговых земель в пахотные. Территориально эти земли обычно соседствуют с пахотными, однако на Ошмянской гряде обнаруживается большой кластер бывших луговых земель с тенденцией к распашке. Анализ динамики позволил выявить процессы зарастания бывших луговых земель лесами и ДКР, земли с соответствующей динамикой встречаются на 5,8 % площади провинции, закономерности их пространственного распределения не обнаружены. Таким образом, для Западно-Белорусской провинции характерно уменьшение площадей луговых земель ввиду освоения их под пашню, зарастания лесами и ДКР. Устойчивой тенденции к зарастанию пахотных земель не выявлено. Рост городов за счет прилегающих сельскохозяйственных земель (в первую очередь пашни) обнаружен на 0,8 % площади провинции и тяготеет к Минску. Редко по территории провинции встречаются участки заболачивания луговых земель (0,3 %). Главный кластер таких земель расположен в пределах Березинского биосферного заповедника.

Исторические этапы динамики структуры земель

Оценка динамики структуры земель демонстрирует, что за весь период исследования почти третья часть территории провинции подверглась тем или иным преобразованиям земель (переход из одного вида в другой). Рисунки 3.3–3.11 показывают, что динамика была не однонаправленной: имели место прямые и обратные трансформации (например, из пашни в луга и обратно). Кроме того, тенденцию прироста лесов можно наблюдать весь период исследования, в то время как активного прироста пашни – последние 10 лет. Таким образом, имеет смысл отдельно рассмотреть временные закономерности динамики структуры земель.

Анализ динамики структуры земель во времени, полученный простым сопоставлением площадей видов земель по временным интервалам, позволил выделить три исторических этапа (рис. 3.13), которые имеют предположительно социально-экономические причины.

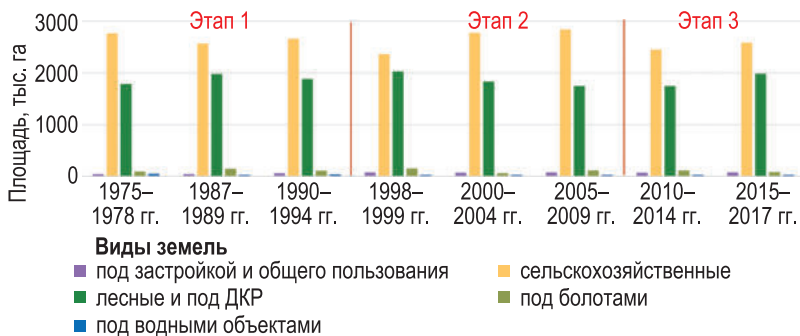


Рис. 3.13. Динамика структуры земель Западно-Белорусской провинции по данным ДЗЗ и этапы динамики

1. Советский и постсоветский этап (1975–1994 гг.). Характеризуется постепенным снижением доли сельскохозяйственных земель, приростом лесных земель. При этом структура земель значительно отличается от современной: луговые преобладают над пахотными, лесистость территории составляет 37 %. Свойственно формирование специализированных регионов интенсивного сельского хозяйства на юге и юго-западе провинции.

Рассмотрим пространственное распространение тенденций трансформаций земель за этот период. Наблюдаются значительные по сравнению с другими этапами площади прироста земель под застройкой (почти 16 тыс. га), что происходит вблизи существующих городов как следствие урбанизации [44]. Направление преобразований между пахотными и луговыми землями меняется с севера на юг: наибольший прирост пахотных земель в южной части провинции (Волковысская, Слонимская, Новогрудская возвышенности и Копыльская, Ошмянская гряды), в центральной и северной частях доминирует обратная трансформация. В сумме это самые масштабные трансформации за данный этап. Переход лугов в лесные земли и земли под ДКР почти в 1,5 раза больше аналогичной трансформации пашни, распространен в центральной части провинции (Столбцовская и Лидская равнины, Любчанская низина). Обратная трансформация лесных земель и земель под ДКР в луга наблюдается в западной и северо-восточной частях провинции, в том числе в пределах Березинского биосферного заповедника, поэтому предположительно не связана непосредственно с хозяйственной деятельностью. Обратная трансформация для пашни встречается эпизодически. Преобразования, связанные с землями под болотами, сосредоточены в северо-восточной части провинции. Нужно отметить участки, соответствующие трансформации земель под болотами в пашню на территориях торфоразработок «Диковина» и «Докудовский» в Лидском районе.

Результатом рассмотренного этапа является прирост лесистости территории (с 37 до 40 %), снижение ее сельскохозяйственной освоенности (в первую очередь за счет пахотных земель: их доля снизилась с 27 до 25 %), перераспределение пахотных и луговых земель между северной и южной частями провинции, а также между верхним и средним высотными ярусами.

2. Этап реализации земельной реформы (1995–2009 гг.). Начинается с прироста пахотных земель, соответствующего первым годам после начала реализации земельной реформы и попытке перераспределения земель между землепользователями [82], однако заканчивается уменьшением площадей сельскохозяйственных земель в целом, приростом лесов. Наблюдается дальнейшее усиление специализации регионов: интенсивного сельского хозяйства на юге, лесного хозяйства и природоохранной деятельности в центральной и северной частях провинции. Для земель под застройкой сохраняются те же тенденции, что и на предыдущем этапе, хотя темпы прироста снижаются. Для сельскохозяйственных земель нужно отметить тенденцию к восстановлению площадей пашни в юго-западной

Продолжается снижение площадей бывших луговых земель вследствие зарастания лесами и ДКР, что усугубляет тенденцию к сокращению площадей лугов. Особенно следует отметить кластер прироста лесных земель на Вилейской низине, что связано с формированием ядра экологической сети Национального парка «Нарочанский» и уменьшением хозяйственной нагрузки в его буферной зоне. Тенденция к уменьшению площадей лугов вследствие изменения режима землепользования (прекращение сенокосения и выпаса скота) оценивается как отрицательная, так как ведет к снижению биоразнообразия [106].

В южной части провинции все так же преобладает вовлечение земель в сельскохозяйственный оборот. Тенденция к увеличению площадей болот, отмеченная на предыдущем этапе, сменяется на обратную.

В целом по провинции за рассмотренный период фиксируется увеличение доли средостабилизирующих видов земель (лесные земли и земли под ДКР: с 1975 по 2017 г. их доля выросла с 37 до 42 %) при усилении сельскохозяйственного освоения некоторых районов в юго-западной части провинции (Гродненский, Волковысский) (рис. 3.14). Расширение или стабилизация площади пашни в этих районах сопровождается уменьшением площадей луговых земель (доля луговых земель по провинции за 40 лет – с 30 до 16,5 %). Таким образом, для всей провинции наблюдается тенденция к убыли площадей сельскохозяйственных земель с юго-запада на северо-восток.

3.3

Прогноз динамики структуры земель до 2025 г.

Логическим продолжением анализа серии наблюдений является составление прогноза. В сложившуюся практику исследования динамики структуры земель Беларуси входят только анализ и экстраполяция тренда динамики структуры земель с подбором его формы: линейной, полиномиальной и т. д. [67; 81]. Экстраполяционный прогноз исходит из предположения, что основные факторы и тенденции прошлого периода сохранятся на прогнозный период. Это предположение справедливо для динамики структуры земель в силу некоторой ее инерционности. Однако, как было продемонстрировано ранее, направление трендов динамики может меняться в период серьезных социально-экономических преобразований. Тем не менее и в таких случаях экстраполяционный прогноз имеет право на суще-

ствование, если будет усложнен различными методами. К примеру, последние наблюдения могут учитываться с большим весом или могут вводиться точки перелома трендов. В данном исследовании был использован второй вариант.

Составленный прогноз показывает, что в ближайшие годы прирост земель под застройкой и общего пользования будет продолжаться, и их доля к 2025 г. достигнет 1,86 % площади провинции против 1,62 % в 2015 г. Темп будущего прироста с 2020 по 2025 г. оценивается в среднем в 375 га в год, тогда как с 1975 по 2015 г. он составлял 720 га в год. Площади сельскохозяйственных земель будут постепенно уменьшаться с темпом в 4 тыс. га в год (до 2015 г. – 4,4 тыс. га в год), хотя до 2020 г. прогнозируется их прирост. Направление тренда

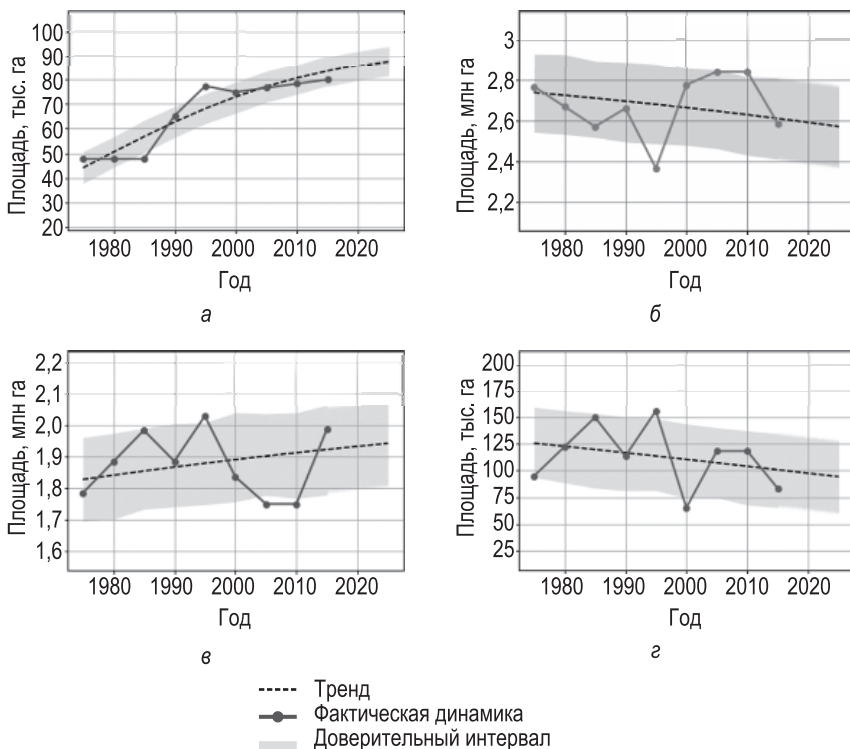


Рис. 3.15. Результаты моделирования динамики структуры земель Западно-Белорусской провинции в 1980–2020 г.:

а – земли под застройкой и земли общего пользования; б – сельскохозяйственные земли; в – лесные земли и земли под ДКР; г – земли под болотами

соответствует общереспубликанскому, и связано оно с оптимизацией сельскохозяйственного землепользования [81]: постепенный вывод малопродуктивных земель, зарастание бывших луговых и залежных земель лесами. Однако уменьшение площадей сельскохозяйственных земель будет происходить за счет лугов (-13,5 тыс. га в год) после некоторого восстановления их площадей в 2020 г., в то время как пахотные земли будут продолжать расти (+7,7 тыс. га в год). Скорость прироста лесных земель замедлится (1,8 тыс. га в год против 5 тыс. га в год), поэтому лесистость провинции практически не изменится и составит 41,23 %. Динамика структуры лесных земель зеркально отражает динамику структуры сельскохозяйственных, что подтверждается данными Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь [81]. Тренд уменьшения площадей земель под болотами, согласно прогнозу, усилится (-650 га в год против 280 га в год). Однако его достоверность невелика, поскольку тренды, составленные на основе данных Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь, свидетельствуют скорее о сложности картографирования и мониторинга этого вида земель, чем о динамике площадей [81]. Полученные тренды для земель под застройкой, сельскохозяйственных земель, земель под лесами и ДКР и земель под болотами приведены на рис. 3.15.

В результате в соответствии с прогнозом к 2025 г. структура земель Западно-Белорусской провинции будет такова: 1,86 % – земли под застройкой и земли общего пользования; 35,39 % – пахотные; 18,97 % – луговые; 41,23 % – лесные земли и земли под ДКР; 1,9 % – земли под болотами; 0,65 % – водные объекты.

4

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО РАЙОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТ ДИНАМИКИ СТРУКТУРЫ ЗЕМЕЛЬ И ГИС-АНАЛИЗА

4.1

Комплексная оценка земельно-ресурсного потенциала

К важным задачам управления земельными ресурсами на уровнях от республиканского до районного относится установление тенденций динамики, структуры и распределения земельного фонда, оценка необходимости и возможности изменения сложившегося землепользования. Для решения подобных задач необходим анализ большого объема разнородных материалов о прошлой и современной структуре земель и факторах, которые могут повлиять на нее в будущем. Результаты обработки данных ДЗЗ, в частности серии карт видов земель, могут стать основой такого анализа.

Исходными данными для анализа послужили цифровые карты видов земель за 1975–2017 гг. и подготовленная на их основе карта динамики структуры земель. Для перехода на локальный уровень анализа была подготовлена цифровая карта видов земель по данным *Sentinel-2*, что позволило увеличить пространственное разрешение цифровых растровых слоев за 2015–2017 гг. до 10 м, а также количество распознаваемых видов земель: были разделены лесные земли и земли под ДКР, выделены нарушенные земли (рис. 4.1).

Первым шагом в процессе анализа территории стало ее зонирование. Данная процедура облегчает обнаружение неоднородности современной пространственной структуры земель, указывает на проблемы и конфликты в использовании земель, позволяет сформировать общую перспективную модель использования и охраны

земель [11]. Входными данными при зонировании территории являлись карта типов динамики структуры земель, границы сельсоветов, численность населения по сельсоветам, балл кадастровой оценки сельскохозяйственных земель, водоохранные зоны средних и малых рек, границы ООПТ [91] (рис. 4.2).

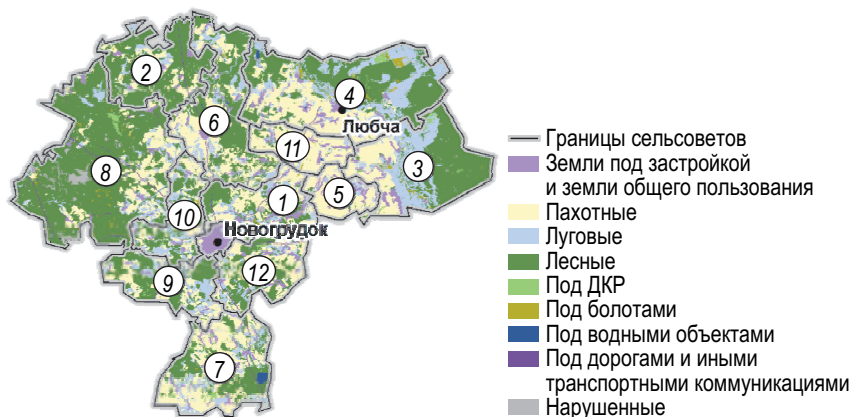
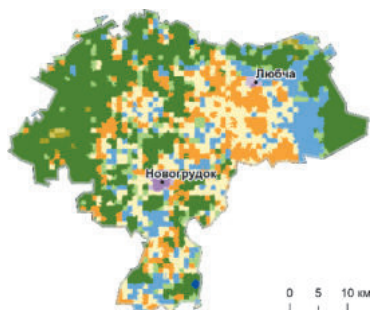


Рис. 4.1. Структура земель в 2015–2017 гг.

Сельские советы Новгородского района:

- 1 – Брольнический; 2 – Отминовский; 3 – Щорсовский; 4 – Любчанский;
 5 – Негневичский; 6 – Вселюбский; 7 – Валевский; 8 – Петревичский;
 9 – Кошелевский; 10 – Ладеницкий; 11 – Осташинский; 12 – Волковичский

Карта типов динамики структуры земель отражает пространственно-временные закономерности изменения структуры земель с 1975 по 2017 г., поэтому исключает необходимость ретроспективного анализа структуры земель. Распределение земель по тенденциям динамики в Новгородском районе является типичной для провинции: доминируют стабильные земли (73,5 %), среди них – лесные (43,3 %), среди сельскохозяйственных преобладают пахотные (15,5 % против 13,4 % луговых). Наиболее масштабны тенденции трансформации луговых земель в пахотные (18,4 %) и лесные (7,4 %). На другие типы динамики приходится менее 1 % района. Сельсоветы выступают административными единицами, в пределах которых осуществляется землепользование, а водоохранные зоны и ООПТ накладывают ограничения на характер использования земель, поэтому должны быть учтены в анализе. Если сложившаяся структура земель в пределах сельсоветов и ООПТ определяется как природными, так и экономическими



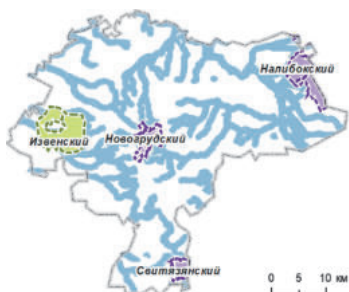
Динамичные земли (с тенденцией перехода)

- пахотные в земли под застройкой
- луговые в пахотные
- луговые в лесные
- под болотами в лесные

Стабильные земли

- под застройкой
- пахотные
- луговые
- под лесами и ДКР
- под болотами
- под водными объектами

а



- Водоохранные зоны
- ООПТ
- Заказник районного значения
- Заказник республиканского значения

б



- <1000
- 1001–1500
- 1501–2000
- 2001–3000
- 3001–30 000

в



- <27
- 27–29
- 30–31
- >30

г

Рис. 4.2. Исходные данные для природно-хозяйственного зонирования Новгородского района:

- а – типы динамики структуры земель; б – ограничения землепользования: водоохранные зоны рек и водоемов, ООПТ; в – численность населения по сельским советам;
- г – балл кадастровой оценки сельскохозяйственных земель

факторами, то ее динамика в основном обусловлена хозяйственной деятельностью человека. В связи с этим зонирование, полученное на основе таких входных данных, следует считать природно-хозяйственным. В результате совместного анализа описанных материалов выделено шесть природно-хозяйственных зон (рис. 4.3).

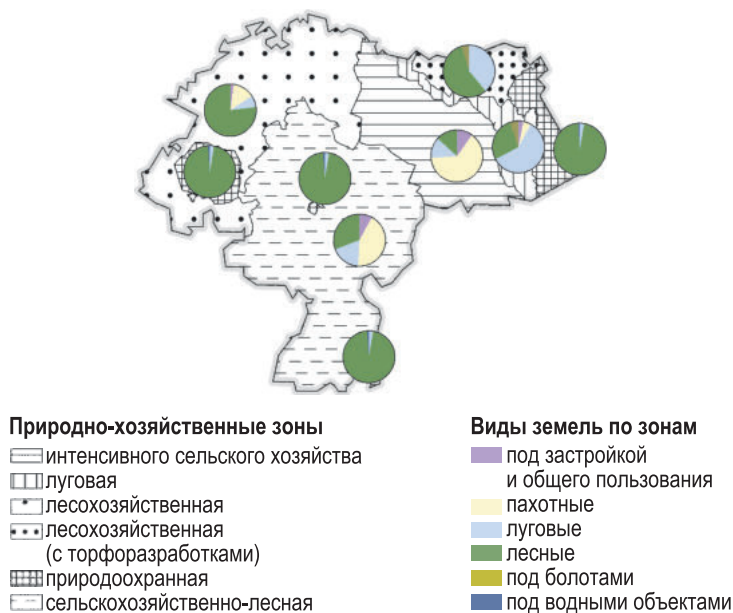


Рис. 4.3. Структура земель природно-хозяйственных зон Новогрудского района

Зона интенсивного сельского хозяйства занимает 16,7 % площади района. К ней отнесены Негневический и Осташинский сельские советы, интенсивно распахиваемые части Любчанского и Щорсовского сельских советов (граница проведена по водоохранной зоне р. Неман). Основой для выделения зоны послужил критерий высокой доли стабильных пахотных земель (42 % от площади зоны), кроме того, относительно высокая плотность сельского населения. Потенциальными земельными конфликтами для этой зоны можно считать пашню в пределах водоохранных зон, развитие водной эрозии и, как следствие, трансформацию пахотных земель в луговые и далее в земли под ДКР.

Луговая зона выделена в границах Любчанского и Щорсовского сельских советов и соответствует водоохранной зоне р. Неман. За-

нимает 5,2 % площади района. Критериями для ее выделения стали преобладание стабильных луговых земель (62 %), более высокие доли болот по сравнению с остальными зонами. Потенциально конфликтный характер носит распашка земель в водоохранной зоне.

Лесохозяйственная зона отличается преобладанием лесных земель. Занимает 25 % площади района, имеет четкую географическую приуроченность к северо-западной и северо-восточной частям района. Полностью занимает Отминовский сельсовет, частично – Петревичский и Вселюбский. Доминируют стабильные лесные земли и земли под ДКР (83 %), среди остальных типов динамики следует отметить трансформацию луговых земель в лесные и земли под ДКР (7 %). К земельным конфликтам данной зоны отнесены отдельные удаленные участки пашни и лугов внутри лесных массивов, а также вырубка в пределах водоохранных зон. Стоит отметить, что действующей схемой землеустройства района такие участки были отведены под залесение и натурализацию.

Лесохозяйственная зона с торфоразработками отличается по структуре земель от лесохозяйственной: несмотря на преобладание стабильных лесных земель (61 %) 28 % площади зоны занимают стабильные луговые земли, всего 1 % приходится на стабильные земли под болотами. Основой для выделения зоны послужило наличие значительных площадей торфоразработок в Любчанском сельском совете за пределами водоохранной зоны р. Неман. Занимает 4,9 % территории района. Факт присутствия активных торфоразработок проверен с помощью сервиса «Торфяники Беларуси» [104]. Главным земельным конфликтом для этой зоны может являться освоение бывших торфоразработок под пашню. Пригодность для включения в экологическую сеть оценивается как допустимая, однако для выполнения природоохранных функций на территории бывших торфоразработок необходимо проводить мероприятия по их восстановлению (залужение, вторичное заболачивание).

Сельскохозяйственно-лесная зона доминирует по площади и занимает 37,7 % территории района. В целом преобладают тенденции к трансформации пашни в луга (27 %), лугов в лесные земли и земли под ДКР (13 %). Наблюдается заметная доля стабильных лесных (26 %) и луговых земель (17 %). Границы зоны полностью соответствуют Брольникскому, Волковичскому, Кошелевскому, Ладеникскому сельским советам. Частично сюда отнесены территории Вселюбского и Петревичского сельских советов, на которых ведется сельскохозяйственная деятельность (границы проведены по контурам карты

динамики структуры земель). Из земель Валевского сельсовета исключена территория республиканского заказника «Свитязянский» с прилегающими лесными массивами, поскольку она отнесена к природоохранной зоне. В качестве земельных конфликтов этой области обозначены пашня в пределах водоохранных зон, залесение луговых земель, деградация мелиоративной сети. Пригодность для обеспечения функций экологической сети оценивается от ограниченной до нейтральной.

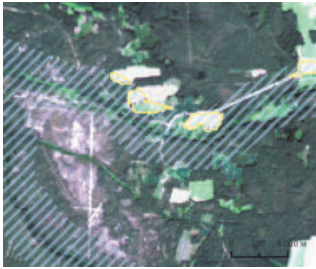
Природоохранная зона выделена на территориях, соответствующих ООПТ, и занимает 10,5 % площади района. Тенденции к трансформациям земель совпадают с лесохозяйственной зоной. Потенциальными конфликтами являются интенсивное использование земель, наличие деградированных земель в пределах или непосредственной близости от ООПТ (военный полигон внутри биологического заказника «Извенский»), вырубка.

После выделения природно-хозяйственных зон и характерных для них конфликтов составление **карты земельных конфликтов** возможно свести к ряду операций ГИС-анализа. В данном случае под земельным конфликтом подразумевается несоответствие фактического использования земель принципам их рационального использования и охраны.

Для зон интенсивного сельского хозяйства, луговой и сельскохозяйственно-лесной были отмечены потенциальные конфликты, связанные с наличием интенсивно используемой пашни в пределах водоохранных зон. Для обнаружения этих конфликтов выполнено пересечение двух цифровых векторных слоев: водоохранных зон (слой *Serv* базы данных ЗИС Республики Беларусь [33]) и пахотных земель, выявленных в результате анализа космических снимков (рис. 4.4, *а*). Общая площадь конфликтов составила 15 877 га – 9,59 % площади района. Это самый распространенный тип конфликтов.

Дополнительно для мелиорированных земель всех зон выделены участки, которые заведомо не используются для сельскохозяйственного производства (рис. 4.4, *б*) – болота (298 га) и леса (1913 га). Слой мелиорированных земель также взят из базы данных ЗИС Республики Беларусь.

Участки деградации сельскохозяйственных земель (также потенциально конфликтные) были выделены путем сравнения двух разновременных слоев: за 2010–2014 и 2015–2017 гг. (рис. 4.5). Были выбраны участки бывших сельскохозяйственных земель, которые подверглись закустариванию или залесению (1030 га, или 0,62 % в сумме).



- Участки пахотных земель в водоохраных зонах рек
- Водоохранные зоны

а



- Зарастание лесами и ДКР
- Мелиорированные земли

б

Рис. 4.4. Примеры выделенных земельных конфликтов на территории Новогрудского района:

а – пахотные земли в водоохранной зоне; б – залесение мелиорированных земель



а



б



- Пашня → земли под лесами и ДКР
- Дуга → земли под лесами и ДКР

в



Рис. 4.5. Пример обнаружения залесения бывших сельскохозяйственных земель на территории Новогрудского района:

а – снимок Landsat-5 от 16 сентября 2006 г.; б – снимок Landsat-5 от 26 августа 2016 г.; в – обнаруженные трансформации

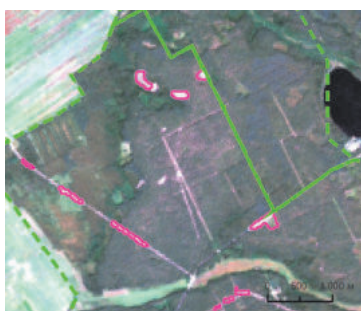
В лесохозяйственной зоне к конфликтным территориям были отнесены удаленные пашни. Для их выделения было рассчитано расстояние до ближайших участков пашни и лесов (1501 га, или 0,91 % района). Для выявления вырубок в пределах водоохранных зон было выполнено пересечение двух слоев: водоохранных зон (слой *Serv* базы данных ЗИС Республики Беларусь) и вырубок, выявленных в результате анализа космических снимков *Sentinel-2*. Общая площадь конфликтов составила 47 га. Это наименее распространенный конфликт.

Нежелательной является распашка на местах бывших торфоразработок. Такие участки (общая площадь – 379 га) были обнаружены в результате пересечения цифрового векторного слоя пахотных земель, полученного по результатам обработки космических снимков, с границами торфоразработок в пределах Новогрудского района (рис. 4.6, *а*). В границах природоохранных зон были отмечены такие потенциальные конфликты, как вырубка и прирост нарушенных земель. Для обнаружения вырубок в пределах ООПТ путем сопоставления цифровых карт видов земель за 2010–2014 и 2015–2017 гг. были найдены участки, соответствующие сведению лесного покрова (202 га, из них наибольшая площадь в заказниках «Извенский» и «Графская пуца»; рис. 4.6, *б*). На территории заказника «Извенский» выявлено 396 га нарушенных земель, они были дешифрированы дополнительно к основным видам.



-  Активные торфоразработки
-  Распахиваемые земли на торфоразработках

а



-  Границы ООПТ
-  Вырубки

б

Рис. 4.6. Примеры выделенных земельных конфликтов на территории Новогрудского района:

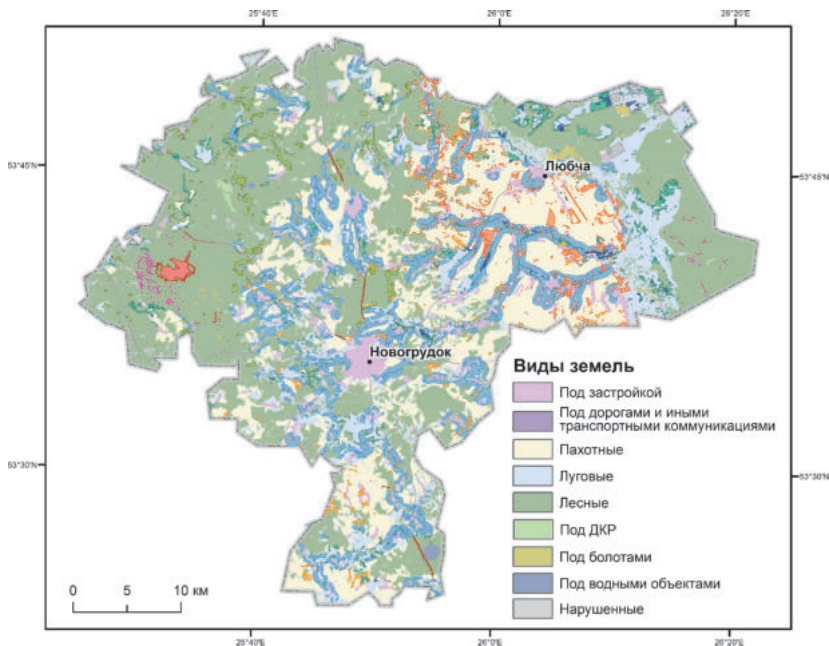
а – пашня в пределах торфоразработок; *б* – вырубки в пределах ООПТ

Общая площадь земельных конфликтов Новогрудского района (рис. 4.7) составила более 20 тыс. га, или 13 % его территории. Самыми распространенными из обнаруженных конфликтов являются участки пахотных земель в пределах водоохраных зон, распространение ДКР на мелиорированных землях в зонах интенсивного сельского хозяйства, сельскохозяйственно-лесной и луговой, изолированные участки пашни в лесохозяйственной зоне.

Для выработки предложений по формированию **экологического каркаса** была проанализирована современная структура земель района с нескольких позиций: пригодность для размещения объектов экологического каркаса, сохранность, фрагментация и контрастность современных ПТК [64; 65; 69; 95]. Дополнительно было учтено актуальное расположение ООПТ, водоохраных зон рек и водоемов.

Пригодность территории для размещения и поддержания объектов экологического каркаса района была оценена в пределах природно-хозяйственных зон, поскольку они обладают однородностью структуры земель и связанным с нею направлением хозяйственного использования. В качестве благоприятных зон были выделены природоохранная, лесохозяйственная и луговая ввиду закономерно меньшей антропогенной нагрузки и существующих ограничений на хозяйственную деятельность. Сельскохозяйственно-лесная зона была определена как нейтральная, лесохозяйственная с торфоразработками – как допустимая. Зона интенсивного сельского хозяйства имеет ограниченные возможности по поддержанию экологического каркаса без возникновения новых земельных конфликтов (рис. 4.8, а).

Сохранность природных комплексов была оценена по степени антропогенной трансформации, для чего рассчитывался соответствующий индекс (коэффициент антропогенной трансформации) по формуле П. Г. Шищенко (1.1) [110]. Среднее значение трансформации территории района составило 4 балла (из 10 возможных), что говорит о достаточном количестве средостабилизирующих земель. Минимальные значения встречаются в северо-западной и северо-восточной частях района, где расположены ООПТ и мало измененные лесные массивы (рис. 4.8, б). Центральная часть оказалась существенно преобразованной как сельскохозяйственной деятельностью, так и строительством населенных пунктов. В восточной части буферной зоной между мало преобразованными лесными массивами и интенсивно используемой пашней является долина р. Неман.



Конфликтные территории (по зонам)	Площадь, га	Доля от площади района, %
Зона интенсивного сельского хозяйства, сельскохозяйственно-лесная, луговая		
Распахиваемые земли в водоохранных зонах рек и водоемов	15 877	9,59
Участки деградации сельскохозяйственных земель:		
зарастание лесами и ДКР бывших пахотных земель	831	0,50
зарастание лесами и ДКР бывших луговых земель	199	1,16
Участки деградации на мелиорированных землях:		
заболачивание	299	0,18
зарастание лесами и ДКР	1914	0,12
Лесохозяйственная зона		
Изолированные участки пашни среди лесных массивов	1501	0,91
Вырубки в водоохранных зонах рек и водоемов	47	0,03
Распахиваемые земли на торфоразработках	379	0,23
Природоохранная зона		
Нарушенные земли	396	0,24
Вырубки	202	0,12
<i>Всего</i>	21 644	13,07

Рис. 4.7. Карта земельных конфликтов Новгородского района

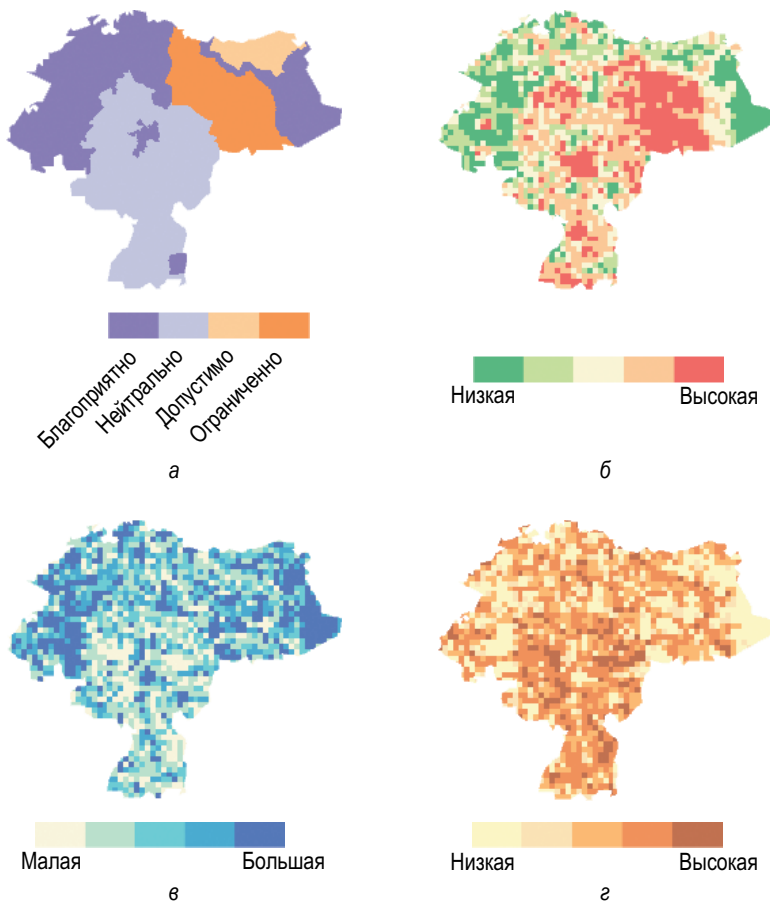


Рис. 4.8. Факторы пригодности территории для обеспечения функций экологического каркаса Новгородского района:

а – пригодность для включения в экологическую сеть; б – антропогенная трансформация; в – эффективная площадь контура; г – контрастно-взвешенная плотность границ

Для **оценки фрагментации** территории Новгородского района использовалась метрика эффективной площади контура, предложенная Й. Ягером [145; 158]. Фрагментация – результат дробления крупных мест обитаний на мелкие изолированные участки. Выбранный параметр описывает связность между контурами видов земель изучаемой территории и выражает вероятность того, что две случайно выбранные точки находятся в одном контуре, который не прерыва-

ются барьерами: транспортными путями или застроенными территориями. Чем больше барьеров присутствует в ландшафте, тем меньше эффективный размер контура:

$$MESH = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A},$$

где a_{ij} – площадь контура вида земель; A – общая площадь контура ландшафта.

Основой для расчета метрики послужила сеть дорог и водотоков – объектов, разделяющих гомогенные области на изолированные контуры. Векторные слои дорог и водотоков были взяты из базы данных *OpenStreetMap* [24]. Для расчетов использовались главные и второстепенные дороги с асфальтовым покрытием. В качестве фрагментирующих водотоков рассматривались средние и крупные реки. Для нормализации индекса по площади расчет производился по сетке квадратов 900×900 м. Пространственное распределение фрагментации в целом согласуется с предыдущей рассмотренной метрикой: наименьшая фрагментация характерна для северо-восточной (соответствует заказникам «Налибокский» и «Графская пушка») и северо-западной частей района (рис. 4.8, в). Однако на юге, где расположен заказник «Свитязянский», фрагментация довольно высокая из-за асфальтированных дорог.

Для **оценки контрастности** была использована метрика контрастно-взвешенной плотности границ (*Contrast-Weighted Edge Density, CWED*):

$$CWED = \frac{\sum_{k=1}^m (e_{ik} d_{ik})}{A},$$

где e_{ik} – общая протяженность границ между контурами внутри ландшафта, м; d_{ik} – мера контрастности между контурами видов земель i и k (назначается экспертом); A – общая площадь контура ландшафта, м² [123].

Она учитывает как плотность границ контуров земель, так и непохожесть последних между собой. Плотность границ принято считать важным экологическим показателем, так как на границах различных видов земель (например, лес и луг) происходит смена микроклимата: освещенность, скорость ветра, характер увлажнения. Контрастно-взвешенная плотность границ дополнительно учитывает несхожесть соседних видов земель с точки зрения экологических условий.

Значения *CWED* выше 0 и увеличиваются по мере расширения различных видов земель внутри рассматриваемого контура или увеличения их контрастности. Таким образом, высокие значения метрики указывают на наличие внутри ландшафта большого количества границ между несхожими видами земель. Исходными данными для расчета являлись цифровые слои видов земель. Расчет производился по сетке квадратов 900×900 м. Контрастность оказалась выше для речных долин, занятых луговой растительностью, болотных массивов, особенно расположенных вблизи сельскохозяйственных земель (рис. 4.8, з). Закономерно меньшая контрастность характерна для крупных контуров однородных видов земель. Расчеты индексов производились с помощью ГИС-пакетов *Fragstat*, *GRASS* и *QGIS* [141; 146; 154].

Посредством анализа выделены территории, пригодные для расширения существующих ООПТ: участки с низкой контрастностью, низкой антропогенной трансформацией и фрагментацией. Поскольку экологический каркас должен обладать связностью, то для объединения отдельных «островов» в сеть предусмотрены коридоры с низкой антропогенной трансформацией и высокой контрастностью. Результирующая карта экологического каркаса района приведена на рис. 4.9.

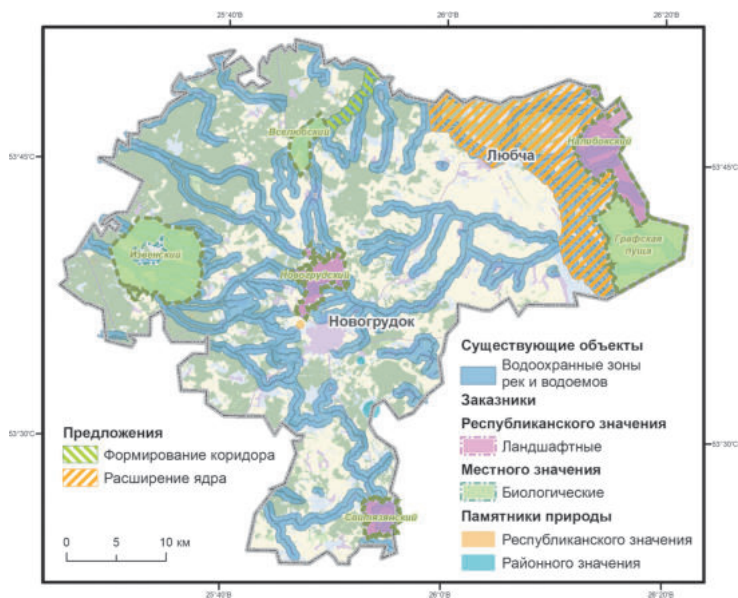


Рис. 4.9. Карта экологического каркаса Новгородского района
 Примечание. Условные знаки видов земель приведены на рис. 4.7.

Основой для экологического каркаса района служат существующие ООПТ и зоны ограничений. Предложенные участки расширения экологического каркаса не включают зоны с ограниченной пригодностью, чтобы не допустить возникновения новых земельных конфликтов.

В восточной части района возможно расширение границ заказника республиканского значения «Налибокская Пуща» и заказника местного значения «Графская пуща» в общей сложности на 16 267 га. В расширенную границу включены лесные земли и земли под ДКР, луговые земли и земли с болотами в верхнем течении р. Неман. Данная территория практически полностью совпадает с ее водоохранной зоной. Важным мероприятием по поддержанию ядра может стать восстановление бывших торфоразработок, в том числе их водного режима.

Для объединения ранее изолированного заказника «Вселюбский» с экологической сетью было предложено оформить водно-лесной коридор по водоохранной зоне р. Гавьи. Мероприятиями по формированию этого коридора может стать снижение сельскохозяйственной нагрузки, в первую очередь трансформация удаленных участков пахотных земель в водоохранной зоне реки в луговые.

Потенциально конфликтный характер носят два объекта ООПТ: республиканский заказник «Свитязянский» и местный заказник «Извенский». Вследствие изолированности заказника «Свитязянский» его соединение с остальной экологической сетью невозможно. На экологическую ситуацию в его пределах может существенно влиять рекреационная нагрузка и связанная с ней инфраструктура (дорожная сеть). К снижению природоохранных функций заказника «Извенский» может привести наличие в его границах военного полигона «Неман».

4.2

Прогноз структуры земель до 2025 г. и разработка предложений по оптимизации землепользования

Территориальное управление невозможно без прогноза состояния и структуры земли в будущем. В состав схемы землеустройства района обычно входит карта перспективного использования земель, составленная экспертным методом. В данном случае в целях создания карты перспективного использования земель Новогрудского района были использованы результаты прогнозирования пространствен-

ного аспекта динамики – карты-прогноза структуры земель на 2020 и 2025 гг., составленные с помощью модуля *Land Change Modeler* программного продукта *TerrSet*. Кроме того, были отобраны наиболее значимые трансформации между 2005 и 2017 гг.: прирост земель под застройкой, залесение сельскохозяйственных земель, залужение болот.

Прирост земель под застройкой происходит главным образом за счет сельскохозяйственных земель (700 га, из них – 461 га являются луговыми). Закономерно, что распространение застроенных земель наблюдается вблизи населенных пунктов (рис. 4.10). Параметрами для прогнозирования послужили растры плотности населения и расстояние до существующих населенных пунктов. В результате площадь спрогнозированной трансформации составила 298 га. Прогнозируемый прирост застроенных земель сосредоточен в центральной и восточной частях района и совпадает с зонами интенсивного сельского хозяйства и сельскохозяйственно-лесной зоной (соответствуют наибольшей плотности населения).



Рис. 4.10. Пример обнаружения прироста земель под застройкой вблизи Новогрудка: а – снимок от 16 сентября 2006 г.; б – снимок от 26 августа 2016 г.; в – обнаруженные трансформации

Залесение бывших пахотных земель встречается эпизодически, небольшими участками вдоль оврагов и кромки леса (см. рис. 4.5) общей площадью 930 га (здесь и далее приведено сравнение с 2010 г.) и имеет наибольшее распространение в северо-западной и центральной частях района. Для прогнозирования использовался комплекс факторов: расстояние до уже совершившихся преобразований пашни в леса и земли под ДКР, балл плодородия почв по сельсоветам, расстояние до торфоразработок и мелиорированных земель. Спрогнозированы также отдельные трансформации в северной части района общей площадью в 307 га. Данные участки можно охарактеризовать как удаленные от других участков пашни, расположены они на землях с наименьшим плодородием в районе.

Залесение бывших луговых земель более масштабно по сравнению с пахотными (более 6980 га) и связано в первую очередь с распространением лесов на участках бывших торфоразработок, а также по оврагам. Факторы прогнозирования аналогичны предыдущей трансформации: расстояние до уже совершившихся преобразований лугов в леса и земли под ДКР, до торфоразработок и мелиорированных земель, балл плодородия почв по сельсоветам. Площадь спрогнозированной трансформации составила 3641 га, участки предполагаемых трансформаций расположены на землях с баллом плодородия ниже 28 и вблизи лесных массивов.

Переход земель под болотами в луговые приурочен к местам бывших торфоразработок в северо-восточной части района и имеет небольшую площадь – 828 га. Несколько меньше по площади обратная трансформация (653 га), охватывающая долину р. Неман и бывшие торфоразработки. Спрогнозированная трансформация болот в луга достигает 847 га и имеет место как вблизи бывших торфоразработок, так и на отдельных удаленных участках. Обратная трансформация носит локальный характер и не выходит за границы торфоразработок.

Полученные в результате моделирования названных трансформаций карты-прогнозы структуры земель Новогрудского района выявили наиболее масштабные трансформации, связанные с залесением территории за счет луговых земель (–6980 га, или 94 %). Для пахотных земель спрогнозировано снижение площади (–2816 га, или 91,5 %), связанное с постепенным зарастанием ДКР участков, расположенных внутри или вблизи лесных массивов. Менее масштабны (порядка 300 га) преобразования земель под болотами и застройкой. На основе прогноза была составлена карта перспективного использования земель (рис. 4.11).

Отметим, что прогнозные темпы сокращения сельскохозяйственных площадей соответствуют многолетним тенденциям, наблюдаемым в пределах Западно-Белорусской физико-географической провинции (рис. 4.12).

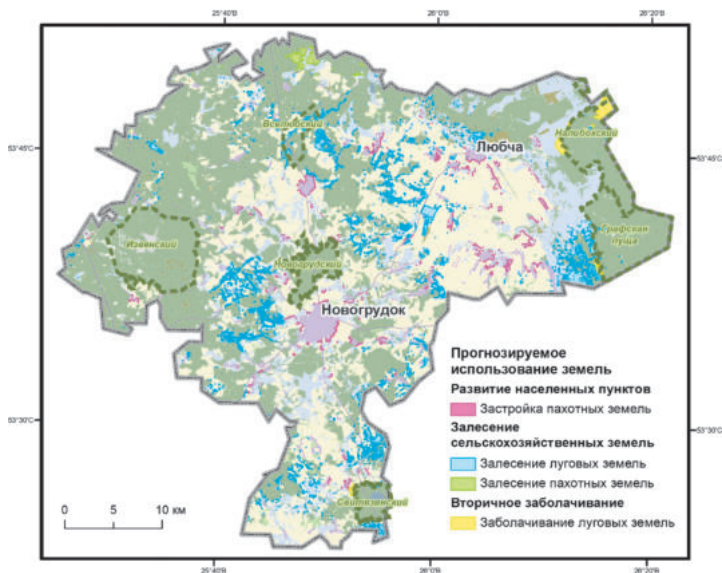


Рис. 4.11. Карта прогнозируемого использования земель Новогрудского района
Примечание. Условные знаки видов земель приведены на рис. 4.7.

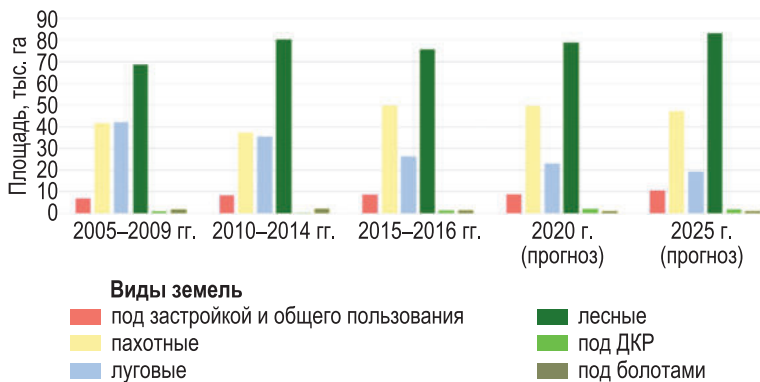


Рис. 4.12. Фактическая (2005–2017 гг.) и прогнозируемая (2020–2025 гг.) динамики площади земель Новогрудского района

Результатом всесторонней оценки структуры земель Новогрудского района стали **предложения по проведению мероприятий управления земельными ресурсами**. Все они сформулированы в рамках концепции предотвращения возникновения новых земельных конфликтов, деградации земель района при сохранении современного уровня сельскохозяйственной освоенности.

Наиболее распространенными конфликтами зоны интенсивного сельского хозяйства являлись: пашня в пределах водоохраных зон, закустаривание луговых и пахотных земель, в том числе мелиорированных. Прогноз указывает на возможную тенденцию к дальнейшему закустариванию луговых земель. Кроме уже имеющихся водоохраных зон, другие мероприятия по развитию экологического каркаса в этой области не предусматриваются. Именно поэтому важным мероприятием для зоны интенсивного сельского хозяйства является реконструкция мелиоративной сети, ведь часто именно вдоль нефункционирующих мелиоративных каналов распространяется ДКР. Допустимо некоторое снижение сельскохозяйственной нагрузки, особенно в водоохраных зонах, в пользу улучшенных луговых земель. Их регулярное перепахивание замедлит закустаривание и залесение.

Главным конфликтом в луговой зоне было зарастание луговых земель ДКР. Эти земли формируют буфер естественных луговых земель между зоной интенсивного сельского хозяйства и природоохранной и активно не используются для сельскохозяйственного производства, поэтому мероприятия по улучшению структуры земель в данной области не требуются. В то же время поскольку луговая зона вместе с лесохозяйственной (с торфоразработками) может быть использована для расширения природоохранного ядра, в будущем здесь необходимо провести мероприятия по рекультивации бывших торфоразработок и не допускать распашку на рекультивированных землях.

Сельскохозяйственно-лесная зона – самая обширная, в ней наблюдаются те же конфликты, что и в зоне интенсивного сельского хозяйства, однако распространение мелиорированных земель и связанных с ними конфликтов значительно меньше. Характерной проблемой этой территории является мелкоконтурность (см. рис. 4.8, в), что не только влияет на условия обитания и пути миграции диких животных, но и негативно сказывается на сельском хозяйстве. Причиной этому в первую очередь выступает сложный рельеф территории. Возможным мероприятием в этой зоне может стать повторное

вовлечение в сельскохозяйственный оборот земель, заросших ДКР. Однако активная распашка данных земель может привести к усиленной эрозии почв, поэтому возможный выход – использование их в качестве луговых угодий.

В лесохозяйственной зоне целесообразен вывод из оборота отдельных удаленных участков пашни, перевод их в луговые или лесные земли. Это особенно актуально для предполагаемого водно-лесного коридора по водоохранной зоне р. Гавьи.

Основными мероприятиями по управлению землепользованием в природоохранной зоне должен быть расчет и контроль допустимой антропогенной нагрузки, связанной с рекреацией и развитием туристической инфраструктуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии впервые применены геоинформационные технологии и обработка данных ДЗЗ для оценки структуры и динамики земель Западно-Белорусской провинции. Кроме того, была разработана методика автоматизированного картографирования видов земель по данным ДЗЗ на основе комплекса их спектрально-временных характеристик по разновременным космическим снимкам среднего пространственного разрешения. Методика заключается в последовательном дешифрировании видов земель:

- земли под водными объектами выделяются по положительным значениям индекса влажности (*NDWI*);
- лесные земли и земли под ДКР, сельскохозяйственные и земли под болотами распознаны по спектральным каналам и индексу влажности путем классификации с обучением;
- высокая вариабельность вегетационного индекса (*NDVI*) в течение года использована для отделения пахотных земель от луговых;
- посредством визуального дешифрирования уточнены границы земель под застройкой и земель общего пользования, земель под дорогами и иными транспортными коммуникациями.

Применение методики для Западно-Белорусской провинции позволило впервые сформировать для территории исследования серию из восьми цифровых карт (пространственное разрешение цифровых растровых слоев – 30 м), отражающих распространение видов земель с 1975 по 2017 г. Оценка точности результатов дешифрирования показала расхождение сумм площадей видов земель по административным районам не более чем на 8 %, точность обнаружения видов земель относительно ЗИС достигла 89 %.

На основе полученных данных выполнена группировка ландшафтов Западно-Белорусской провинции по пространственно-временной организации структуры земель: доминирующих видов земель и их сочетаний, а также тенденций к их трансформации во времени. Выявлено, что для большей части провинции (77,6 %) типичны стабильные группы ландшафтов (застроенные, лесные, болотно-лесные, пахотные, лугово-лесные и лугово-пахотные), и только 22,4 % демонстрируют тенденцию к переходу из одной группы в другую (пахотно-лесные в лесопольевые, лесолуговые в лугово-лесные, пахотно-луговые в лугово-пахотные). Анализ структуры земель про-

винции по выделенным группам показал их обусловленность генезисом и литологией поверхностных отложений, рельефом, а также почвенным покровом. Наблюдаются закономерные смены пахотных, лугово-пахотных ландшафтов на лесные, лугово-лесные и болотно-лесные при переходе с верхней на нижнюю ступень рельефа. Замечено, что группа пахотных ландшафтов наиболее распространена на суглинистых, лёссовидных почвах, лугово-пахотные тяготеют к супесчаным и суглинистым иногда глееватым почвам, переходные к лесопольевым и лугово-пахотные – к супесчаным и суглинистым, глееватым и глеевым почвам. Обнаружено отсутствие стабильных луговых ландшафтов и приуроченность переходных от лесолуговых к лугово-лесным ландшафтам речных долин.

В динамике площадей видов земель за 1975–2017 гг. прослеживаются три этапа, различных по скорости и направлениям трансформации земель: советский и постсоветский (1975–1994 гг.), реализации земельной реформы (1995–2009 гг.) и современный (2010–2017 гг.). Тесная корреляционная связь (коэффициент ранговой корреляции Спирмена – 0,98) между характером динамики структуры земель (скорость изменения структуры земель ландшафтов) и степенью антропогенной трансформации (доля антропогенно-преобразованных земель в ландшафтах) указывает на влияние социально-экономических факторов динамики структуры земель на протяжении всего периода наблюдений. Важнейшими тенденциями наблюдаемой динамики являются: замедляющийся прирост земель под застройкой и земель общего пользования; повсеместный поступательный прирост лесных земель и земель под ДКР за счет бывших луговых земель; сокращение луговых земель ввиду трансформации их в пахотные (2/3 площади трансформации) и лесные земли, земли под ДКР (1/3 площади), вытеснение их в речные долины; локальный прирост пахотных земель, проявившийся в вовлечении в сельскохозяйственный оборот ранее менее освоенных ландшафтов (речных долин, аллювиальных террасированных, озерно-ледниковых и водно-ледниковых) и дальнейшем увеличении освоенности сильно распаханых ландшафтов.

В соответствии с разработанным прогнозом динамики структуры земель провинции до 2025 г. ожидается постепенный прирост земель под застройкой и земель общего пользования, незначительное сокращение сельскохозяйственных земель, замедление прироста лесных земель и земель под ДКР. В итоге к 2025 г. предположительно сложится следующая структура земель: 1,9 % – под застройкой и обще-

го пользования; 35,4 % – пахотные; 18,9 % – луговые; 41,2 % – лесные и под ДКР; 1,9 % – под болотами; 0,7 % – под водными объектами. Локальные карты-прогнозы для ключевого участка (Новогрудский район) согласуются в оценке направлений трендов трансформации земель с общими по провинции, главным из которых является стабильный прирост лесных земель и земель под ДКР, происходящий вблизи лесных массивов, при снижении сельскохозяйственной освоенности за счет луговых.

Применение подходов ГИС-анализа для комплексной оценки земельно-ресурсного потенциала административного района позволяет автоматизировать операции природно-хозяйственного зонирования, обнаружения земельных конфликтов, составления прогноза трансформаций земель, планирования развития экологического каркаса. Комплекс мероприятий по оптимизации структуры земель и предотвращению земельных конфликтов для Новогрудского района заключается в реконструкции мелиоративной сети, рекультивации торфоразработок, повторном вовлечении в сельскохозяйственный оборот земель, заросших ДКР, в качестве луговых угодий, выводе из оборота удаленных участков пашни, контроле допустимой антропогенной нагрузки в ООПТ.

Результаты исследований, в том числе разработанные методики, внедрены в практику РУП «Проектный институт “Белгипрозем”», Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова, Института прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко БГУ, используется в учебной и научно-исследовательской работе на факультете географии и геоинформатики БГУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. *Аношко В. С.* Мелиоративно-географическое направление – объективная необходимость развития географической науки Беларуси в XX ст. // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. № 2. 2013. С. 86–90.
2. Антропогенная трансформация ландшафтов проблемных регионов Беларуси / *Г. И. Марцинкевич* [и др.] // Природопользование. 2010. № 18. С. 55–63.
3. *Бакарасов В. А., Гагина Н. В.* Ландшафтный подход к разработке направлений регионального устойчивого землепользования // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2012 г. // редкол.: *И. И. Пирожник* (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2012. С. 267–269.
4. *Беляев Б. И., Казяк Е., Хрущёва Е.* Исследование сезонной динамики спектрально-отражательных свойств агрокультур Беларуси на основе полевого спектрометрирования и материалов дистанционного зондирования Земли // Земля Беларуси. 2016. № 2. С. 42–26.
5. *Беляев Б. И., Катковский Л. В.* Оптическое дистанционное зондирование. Минск, 2006.
6. *Берлянт А. М.* Геоинформационное картографирование. М., 1997.
7. *Борисенко Е. Н.* Природно-антропогенные и антропогенные ландшафты южной и центральной частей Амурско-Зейского междуречья: характеристика и оценка : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23 / Нац. исслед. Том. гос. ун-т. Томск, 2016.
8. *Виноградов Б. В.* Аэрокосмический мониторинг экосистем. М., 1984.
9. *Витченко А. Н., Власов Б. П., Марцинкевич Г. И.* Ландшафтно-экологические исследования как реализация стратегии устойчивого развития Беларуси // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2009. № 1. С. 81–88.
10. Влияние антропогенной трансформации ландшафтов на геоэкологическое состояние озерных геосистем Белорусского Поозерья / *Н. В. Гагина* [и др.] // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири : в 5 т. / под ред. *В. Г. Сычева, Л. Мюллера*. М., 2018. Т. 2 : Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах. С. 425–429.
11. *Гарцуева Е. Я., Коробкин А. С.* Вопросы устойчивого землепользования в схемах землеустройства районов // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение :

материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2012 г. / редкол.: И. И. Пирожник [и др.]. Минск, 2012. С. 273–275.

12. География почв Беларуси : учеб. пособие / Н. В. Клебанович [и др.]. Минск, 2011.

13. Геоинформационный ресурс данных ДЗЗ [Электронный ресурс] // БелПСХАГИ. URL: <https://www.dzz.by/izuchdzz/#> (дата обращения: 01.12.2019).

14. Геологическая карта четвертичных отложений Белорусской ССР [Карты] / сост. и подгот. к печ. М-вом геологии СССР ; гл. ред. Г. И. Горецкий. 1 : 500 000. М., 1980. – 1 к.

15. Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://gismap.by/> (дата обращения: 01.12.2019).

16. Гилёва Л. А. Эколого-хозяйственное обоснование рационального землепользования на территории Ямало-Ненецкого автономного округа : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.26 / Ом. гос. аграр. ун-т им. П. А. Столыпина. СПб., 2015.

17. Глушко А. Я. Земельный фонд юга европейской части России под воздействием опасных природных процессов (явлений) : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.23 / Высокогор. геофиз. ин-т. Нальчик, 2020.

18. Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь : утв. Указом Президента Респ. Беларусь, 12 янв. 2007 г., № 19 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2007. 1/8258.

19. Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь, II этап : утв. постановлением Советом Министров Респ. Беларусь, 27 апр. 2015, № 349 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2015. 5/40464.

20. Гусев А. П., Андрушко С. В. Геоэкологическая оценка антропогенных изменений ландшафтов (на примере юго-востока Беларуси) // Вестн. Том. гос. ун-та. 2010. № 340. С. 202–205.

21. Гусев А. П. Фрагментация ландшафтного покрова как фактор деградации потенциала самовосстановления геосистем // Весці Беларус. дзярж. пед. ун-та. Сер. 3, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. 2014. № 1. С. 58–61.

22. Давыдова Т. В. Геоэкологические направления охраны и рационального использования почвенно-земельных ресурсов юга Селенгинского среднегорья : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 ; 25.00.23 / Бурят. гос. ун-т. Улан-Удэ, 2004.

23. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2. С. 7–18.

24. Дежин А. Данные OpenStreetMap в формате share-файлов [Электронный ресурс]. URL: <http://gis-lab.info/qa/osmshp.html> (дата обращения: 10.06.2019).

25. Дементьев В. А., Марцинкевич Г. И. Ландшафты северной и средней Белоруссии: опыт классификации. Минск, 1968.

26. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш. М. Дейвис [и др.] ; под ред. Ф. Свейна, Ш. Дейвис. М., 1983.

27. Емельянов Ю. Н., Якушко О. Ф., Марьина Л. В. Геоморфология Беларуси : учеб. пособие. Минск, 2000.

28. Жарко В. О. Методы обработки данных спутниковых измерений спектрально-временных характеристик отраженного излучения для дистанционной оценки параметров лесного покрова : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.01 / Науч.-технол. центр уникал. приборостроения РАН. М., 2015.

29. Жиленов М. Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке // Геоматика. 2009 № 3. С. 56–65.

30. Жмойдяк Р. А., Явид П. П. Развитие тематического картографирования в Беларуси // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2002. № 1. С. 67–74.

31. Замятин А. В., Марков Н. Г. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. М., 2007.

32. Запрудская Т., Гердий В. Основные принципы рационального использования земельных ресурсов // Наука и инновации. 2016. № 10. С. 18–20.

33. Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания и ведения (эксплуатации, обновления) : ТКП 610-2017 (33520): Введ. 2019-01-29. Минск, 2019.

34. Ильючик М. Использование данных дистанционного зондирования Земли в лесном хозяйстве и лесоустройстве // Земля Беларуси. 2014. № 4. С. 45–48.

35. Исаченко А. Г. Теория и методология географической науки : учебник. М., 2004.

36. Кадничанский С. А. Сравнительный анализ материалов цифровой АФС и космической съемки для создания и обновления карт // Геопрофи. 2009. № 4. С. 4–8.

37. Клебанович Н. В. Земельный кадастр : учеб. пособие. Минск, 2007.

38. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2011.

39. Ковалиев А. И., Исаченко А. П. Роль землеустройства в сохранении почвенно-земельных ресурсов // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение : материалы

Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2012 г. / редкол.: И. И. Пирожник [и др.]. Минск, 2012. С. 7–13.

40. Кодекс Республики Беларусь о земле [Электронный ресурс] : 23 июля 2008 г., № 425-З: принят Палатой представителей 17 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 24.10.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.

41. Колесов Д. MOLUSCE – Анализ изменений ландшафтного покрова [Электронный ресурс]. URL: <http://gis-lab.info/qa/molusce-intro-ru.html> (дата обращения: 10.10.2019).

42. Коноплев Е. А., Коноплева Л. Т. Земельные ресурсы Беларуси: их использование и охрана // Природообустройство. 2015. № 5. С. 70–77.

43. Кохно А., Казяк Е. Картографирование земельного фонда Полесского государственного радиационно-экологического заповедника на основе автоматизированного дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли // Земля Беларуси. 2016. № 4. С. 30–33.

44. Красовский К. К. Урбанизация Беларуси: пространственно-временная динамика // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2002. № 2. С. 64–70.

45. Кренке А. Н., Пузаченко Ю. Г. Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации // Эколог. планирование и управление. 2008. № 7. С. 10–25.

46. Кринов Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований : монография. М. ; Л., 1947.

47. Курлович Д. М. ГИС-картографирование земель : учеб.-метод. пособие. Минск, 2011.

48. Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков : учеб. пособие. М., 2004.

49. Ландшафтная карта БССР [Карта] / спец. содерж. разработ. Н. К. Клицунова [и др.] ; науч. ред. А. Г. Исаченко ; сост. и подгот. к печат. ф-кой № 2 ГУГК. 1 : 600 000. М, 1984. – 1 к.

50. Ландшафты Белоруссии / Г. И. Марцинкевич [и др.]. Минск, 1989.

51. Маковеева Е. И. Геоэкологические подходы к оптимизации природопользования в центральной части Западного Забайкалья: на примере Тугнуйской котловины : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Бурыят. гос. ун-т. Улан-Удэ, 2007.

52. Марцинкевич Г. И. Ландшафтоведение : учебник. Минск, 2007.

53. Марцинкевич Г. И. Пути и механизмы сохранения ландшафтного разнообразия // Стратегия устойчивого развития Беларуси: экологический аспект / Е. А. Антипова [и др.]. Минск, 2014. С. 252–260.

54. Марцинкевич Г. И., Частная И. И. Ландшафтоведение : учеб. пособие. Минск, 2014.

55. *Марцинкевич Г. И., Клицунова Н. К., Якушко О. Ф.* Физико-географическое районирование Беларуси в европейской десятичной системе районирования // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2001. № 1. С. 85–90.

56. *Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И.* Оценка ландшафтного разнообразия природных и природно-антропогенных комплексов Беларуси // Природопользование. 2005. № 11. С. 98–105.

57. *Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И., Усова И. П.* Функциональная типология и структура трансформированных ландшафтов Белорусского Полесья // Земля Беларуси. 2010. № 3. С. 24–27 ; № 4. С. 42–48.

58. *Мильков Ф. Н.* Ландшафтная география и вопросы практики. М., 1966.

59. Мониторинг высшей водной растительности озер НП «Нарочанский» с использованием данных ДЗЗ (на примере Мядельской группы озер) / Б. П. Власов [и др.] // Современные технологии в деятельности особо охраняемых природных территорий: геоинформационные системы, дистанционное зондирование земли : IV Междунар. науч.-практ. семинар, Нарочь, 14–18 марта 2018 г. : сб. науч. ст. / Нац. парк «Нарочанский» [и др.]. Минск, 2018. С. 17–21.

60. *Мышляков С. Г.* Возможно ли наведение порядка на земле в России и как в этом могут помочь космические снимки // Земля Беларуси. 2016. № 3. С. 7–12.

61. Национальный атлас Беларуси / В. М. Шимов [и др.] ; под ред. М. В. Мясниковича. Минск, 2002.

62. *Николаев В. А.* Проблемы регионального ландшафтоведения. М., 1979.

63. *Ничипорович З. А., Микуцкий В. С., Каждан Е. Н.* Программно-информационное обеспечение мониторинга ООПТ на основе космических ГИС-технологий (на примере Березинского заповедника) // Современные технологии в деятельности особо охраняемых природных территорий: геоинформационные системы, дистанционное зондирование земли : II Междунар. науч.-практ. семинар, Нарочь, 11–13 мая 2016 г. : сб. ст. / Нац. парк «Нарочанский» [и др.]. Минск, 2016. С. 30–34.

64. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г., № 1982-ХІІ : в ред. от 16 дек. 2019, № 269-3 // КонсультантПлюс Беларусь / ООО «Юрспектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2020.

65. Об установлении требований к содержанию схемы национальной экологической сети и критериев выбора территорий для включения в национальную экологическую сеть [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 26 нояб. 2010 г., № 1733 : в ред. от 12 нояб.

2014 г., № 1066 // КонсультантПлюс Беларусь / ООО «Юрспектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2019.

66. Об установлении формы ведомственной отчетности на 2019 г. : приказ Гос. комитета по имуществу Респ. Беларусь, 17 дек. 2018 г., № 251 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2019. 8/33746.

67. Об утверждении Инструкции о порядке разработки схем землеустройства районов [Электронный ресурс] : постановление Гос. комитета по имуществу Респ. Беларусь, 29 мая 2008 г., № 43 : в ред. от 9 марта 2020 г., № 3 // КонсультантПлюс Беларусь / ООО «Юрспектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2020.

68. *Обуховский Ю., Самсоненко И., Жидкова Т.* Космоландшафтное картографирование и оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов Брестского района // Земля Беларуси. 2013. № 4. С. 35–41.

69. Об экологической сети : Указ Президента Респ. Беларусь, 13 марта 2018 г., № 108 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. 2018. 1/17595.

70. *Ольшевская Е. С.* Анализ и экстраполяционный прогноз динамики сельскохозяйственных земель // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2012 г. / редкол.: И. И. Пирожник [и др.]. Минск, 2012. С. 301–303.

71. *Ольшевская Е. С.* Оценка производственного потенциала аграрного землепользования // Земля Беларуси. 2011. № 2. С. 48–52.

72. *Ольшевский А.* Выбор оптимального метода классификации космоснимков для целей автоматизированного дешифрирования видов земель // Земля Беларуси. 2010. № 1. С. 42–48.

73. *Ольшевский А.* Разработка геоинформационной модели автоматизированной классификации многозональных космических снимков // Земля Беларуси. 2013. № 1. С. 36–39.

74. Основы методики и технологии дистанционной диагностики земельных ресурсов / В. Н. Губин [и др.]. Минск, 1993.

75. Охрана окружающей среды Республики Беларуси : стат. сб. / под ред. И. В. Медведевой ; Нац. стат. комитет Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. Минск, 2018.

76. Оценка размещения элементов экологической сети в физико-географических регионах Беларуси / М. Н. Брилевский [и др.] // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2012. № 3. С. 72–76.

77. *Пиловец Г. И., Чигринов М. П.* Мониторинг изменения видов земель Витебской области на основе данных дистанционного зондирования Земли // Земля Беларуси. 2018. № 3. С. 11–13.

78. Пирожник И. И. Сравнительный анализ земельно-ресурсного потенциала Беларуси и эффективности его использования // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2012 г. / редкол.: И. И. Пирожник [и др.]. Минск, 2012. С. 24–29.

79. Плотников Д. Е., Барталев С. А., Лупян Е. А. Признаки распознавания пахотных земель на основе многолетних рядов данных спутникового спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, № 1. С. 330–341.

80. Помелов А. С. Государственный контроль за использованием и охраной земель в Беларуси: проблемы и решения // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2012 г. / редкол.: И. И. Пирожник (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2012. С. 29–37.

81. Помелов А. С. Структурирование земельных ресурсов и регулирование землепользования в Беларуси. Минск, 2013.

82. Помелов А. С., Яцухно В. М. Земельные ресурсы и устойчивое развитие аграрного природопользования // Природ. ресурсы. 2002. № 3. С. 36–44.

83. Помелов А. С., Яцухно В. М. Устойчивое использование и охрана земельных ресурсов // Стратегия устойчивого развития Беларуси: экологический аспект / Е. А. Антипова [и др.]. Минск, 2014. С. 54–68.

84. Пономарев А. А., Байбаков Э. И., Рубцов В. А. Экологический каркас: Анализ понятий // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. : Естественные науки. 2012. Т. 154, кн. 3. С. 228–236.

85. Почвенно-земельные ресурсы Припятского Полесья / М. Романова [и др.] // Наука и инновации. 2015. № 8. С. 7–10.

86. Прикота А., Рандовцова Е. О динамике изменения земельных ресурсов Гомельской области // Земля Беларуси. 2015. № 3. С. 12–15.

87. Принципы классификации природно-антропогенных ландшафтов / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Антропогенная динамика ландшафтов и проблемы сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия : материалы Респ. науч.-практ. конф., Минск, 26–28 дек. 2001 г. / Белорус. гос. пед. ун-т им. Максима Танка. Минск, 2002. С. 90–91.

88. Пузаченко Ю. Г., Дьяконов К. Н., Алещенко Г. М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия / Н. В. Лебедева [и др.] ; под ред. Н. С. Касимова [и др.]. М., 2002. С. 76–178.

89. Пузаченко Ю. Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях : учеб. пособие. М., 2004.

90. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь.

URL: http://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr/ (дата обращения: 04.02.2020).

91. Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Особо охраняемые территории Республики Беларусь. URL: <http://www.ipps.by:9084/apex/f?p=101:1:2657575718754878> (дата обращения: 23.08.2020).

92. Республика Беларусь. Ландшафтная карта [Карты] / сост. и подгот. к изд. Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, РУП «Белкартография» ; спец. содержание разработ. Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая, И. П. Усова. 1 : 500 000. Минск, 2015. 1 к.

93. Ридевский Г. В. Почвенно-земельные ресурсы административных районов Беларуси // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2012 г. / редкол.: И. И. Пирожник (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2012. С. 69–71.

94. Розанов В. В. Почвенно-экологическая оценка земель агроландшафтов междуречья Вори и Угры : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Моск. гор. пед. ун-т. М., 2010.

95. Руководящие принципы формирования Общеввропейской экологической сети [Электронный ресурс] // Центр охраны дикой природы. URL: <https://www.biodiversity.ru/programs/econet/docs/princeuro/main.html> (дата обращения: 27.11.2019).

96. Рыков Д. Матрица ошибок и расчет показателей точности тематических карт [Электронный ресурс]. URL: <http://gis-lab.info/qa/error-matrix.html> (дата обращения: 27.11.2019).

97. Сезонная информативность многоспектральных космических снимков высокого разрешения при изучении породно-возрастной динамики лесов / В. М. Жирин [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : 9-я Всерос. конф., Москва, 14–18 нояб. 2011 г. / Ин-т косм. исслед. РАН. М., 2011.

98. Соколов А. С. Антропогенная трансформация природной среды Беларуси: ландшафтные закономерности и районирование // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. 2018. № 1. С. 106–117.

99. Структура географической среды и ландшафтное разнообразие Беларуси / В. С. Аношко [и др.] ; под ред. И. И. Пирожника, Г. И. Марцинкевич. Минск, 2006.

100. Схема комплексной территориальной организации Новогрудского района: основные положения : 11.08-00 / Белниипградостроительства. – Минск, 2011. – 78 с.

101. Схема основных миграционных коридоров модельных видов диких животных [Электронный ресурс] : одобр. решением коллегии М-ва при-

род. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 05.10.2016, № 66-Р // Минский городской комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды. URL: <http://minskpriroda.gov.by/infotape/actually/diagram-of-the-main-migration-corridors-model-species-ofwild-animals/> (дата обращения: 20.08.2020).

102. *Счастливая И. И.* Общее ландшафтоведение : курс лекций. Минск, 2002.

103. Типы сельскохозяйственных земель Белорусской гряды как основа формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2. С. 18–31.

104. Торфяники Беларуси [Электронный ресурс] / НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам. URL: <http://www.peatlands.by/> (дата обращения: 16.06.2019).

105. Физико-географическое районирование Беларуси в европейской десятичной системе районирования / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2001. № 1. С. 85–90.

106. Формирование устойчивых придорожных растительных сообществ высокой ботанической и эстетической ценности: основные положения концепции и экспериментальное обоснование / И. П. Вознячук [и др.] // Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. : Биолог. науки. 2019. № 2. С. 238–254.

107. *Червань А., Гарцуева Е.* Геосистемный подход к планированию использования земельных ресурсов в условиях Припятского Полесья // Земля Беларуси. 2012. № 2. С. 31–34 ; № 3. С. 42–46.

108. *Черепанов А. С., Дружинина Е. Г.* Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3. С. 28–32.

109. *Черныш А. Ф., Радюк А. Э., Касьянчик С. А.* Оценка экологической сбалансированности структуры земельного фонда в эрозионных и заболоченных агроландшафтах Беларуси // Почвоведение и агрохимия. 2009. № 1. С. 42–47.

110. *Шищенко П. Г.* Прикладная физическая география : учеб. пособие. Киев, 1988.

111. *Шовенгердт Р. А.* Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / пер. с англ. А. В. Кирюшина, А. И. Демьяникова. М., 2010.

112. *Юргенсон Н. А., Чайковский А. И., Устин В. В.* Современное состояние и перспективы развития системы особо охраняемых природных территорий республики Беларусь // Технологические тенденции повышения промышленной экологической безопасности, охраны окружающей среды, рациональной и эффективной жизнедеятельности человека : Междунар. науч.-практ. конф. с участием государств – участников СНГ, Минск, 15–16 мая 2013 г. : тез. докл. / редколл.: В. Е. Кратенок [и др.] ; Гос. ком. по науке и технологиям Респ. Беларусь. Минск, 2013. С. 600–605.

113. Юргенсон Н. А., Шушкова Е. В. Опыт разработки экологической сети в Беларуси // Технологические тенденции повышения промышленной экологической безопасности, охраны окружающей среды, рациональной и эффективной жизнедеятельности человека : междунар. науч.-практ. конф. с участием государств – участников СНГ, Минск, 15–16 мая 2013 г. : тез. докл. / редкол.: В. Е. Кратенок [и др.] ; Гос. ком. по науке и технологиям Респ. Беларусь. Минск, 2013. С. 605–610.

114. Юргенсон Н. А., Шушкова Е. В., Шляхтич Е. А. Особенности формирования национальной экологической сети в Беларуси // Природ. ресурсы. 2015. № 2. С. 99–106.

115. Яновский А. А. Оценка состояния поверхности нарушенных торфяных месторождений Беларуси по данным дистанционного зондирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.03.13 / Ин-т природопользования НАН Беларуси. Минск, 2017.

116. Янушко А. Д., Санкович М. М., Желиба Б. Н. Хозрасчет и эколого-экономическая оценка земельных и лесных ресурсов в лесхозах Беларуси. Минск, 1993.

117. Яцухно В. М. Агроресурсный потенциал административных районов Беларуси: оценка состояния и современное использование // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 3. С. 144–148.

118. Яцухно В. М. Земля и ландшафт // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2000. № 1. С. 48–51.

119. Яцухно В. М., Ольшевская Е. С., Давыдик Е. Е. Земельно-ресурсный потенциал административных районов Беларуси и его использование в аграрной отрасли // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2012. № 1. С. 75–80.

120. Яцухно В. М., Помелов А. С. Территориальная организация агроландшафтов и вопросы оптимизации природной среды // География и природные ресурсы. 1990. № 2. С. 14–21.

121. Дарчук К. В., Атаманюк М. -Т. М. Регіональні особливості антропогенної перетвореності території Івано-Франківської області // Науков. Вісн. Чернівецького ун-ту : зб. наук. праць. 2011. Вип. 553–554. С. 16–20.

122. Agricultural land change in the Carpathian ecoregion after the breakdown of socialism and expansion of the European Union [Electronic resource] / P. Griffiths [at al.] // Environmental research letters. 2013. Vol. 8, № 4. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/4/045024/pdf> (date of access: 22.06.2020).

123. A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data / James R. Anderson [et al.] ; Geological Survey. Washington, 1976.

124. Büttner G., Kosztra B. CLC2018 Technical Guidelines [Electronic resource] // Copernicus. URL: https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/clc2018technicalguidelines_final.pdf (date of access: 30.05.2020).

125. Chander G., Markham B. L., Helder D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors // *Remote Sensing of Environment*. 2009. Vol. 113, iss. 5. P. 893–903.

126. Characterization of the Landsat-7 ETM Automated Cloud-Cover Assessment (ACCA) Algorithm / R. R. Irish [et al.] // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2006. Vol. 72, № 10. P. 1179–1188.

127. Congalton R. G. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information // *International J. of Wildland Fire*. 2001. Vol. 10. P. 321–328.

128. Copernicus Land Monitoring Service [Electronic resource] // Copernicus. URL: <https://www.copernicus.eu/en/services/land> (date of access: 29.12.2019).

129. Coppin P. R., Bauer M. E. Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Digital Imagery // *Remote Sensing Reviews*. 1996. № 13. P. 207–234.

130. CORINE Land cover. Part two. Nomenclature: illustrations [Electronic Resource] // European Environment Agency. URL: http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-part2/land_coverPart2.1.pdf (date of access: 02.02.2020).

131. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia / A. V. Prishchepov [at al.] // *Land Use Policy*. 2013. Vol. 30. P. 873–884.

132. Developing and applying a multi-purpose land cover validation dataset for Africa / N-E. Tsendbazar [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 219. P. 298–309.

133. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review / P. Coppin [at al.] // *International J. of Remote Sensing*. 2004. Vol. 25, № 9. P. 1565–1596.

134. Eastman J. R. Terrset Manual [Electronic resource]. URL: <http://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/Terrset-Manual.pdf> (date of access: 28.09.2019).

135. Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe [Electronic resource] / A.V. Prishchepov [et al.] // *Environmental Research Letters*. 2012. Vol. 7, № 2. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/2/024021> (date of access: 02.02.2020).

136. ENVI – Geospatial products [Electronic resource]. URL: <https://www.13harrisgeospatial.com/SoftwareTechnology/ENVI> (date of access: 07.08.2020).

137. FAOSTAT [Electronic resource] // Food and Agriculture Organization of United Nations. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL/metadata> (date of access: 07.08.2020).

138. *Fichera C. R., Modica G., Pollino M.* Land Cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics // *European J. of Remote Sensing*. 2012. Vol. 45, iss. 1. P. 1–18.

139. Fmask – Automated clouds, cloud shadows, and snow masking for Landsat 4, 5, 7, and 8 images [Electronic resource]. URL: <https://code.google.com/p/fmask/> (date of access: 18.08.2020).

140. Future land-use change scenarios for the Black Sea catchment / E. Mancosu [et al.] // *Environmental science and policy*. 2015. Vol. 46. P. 26–36.

141. GIS GRASS: bringing advanced geospatial technologies to the world [Electronic resource]. URL: <https://grass.osgeo.org> (date of access: 03.09.2020).

142. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach / J. Chen [et al.] // *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2015. Vol. 103. P. 7–27.

143. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // M. C. Hansen [et al.] // *Science*. 2013. Vol. 342, iss. 6160. P. 850–853.

144. Hotspots of land use change in Europe [Electronic resource] / T. Kuemmerle [et al.] // *Environmental Research Letters*. 2016. Vol. 11, № 6. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/6/064020> (date of access: 16.01.2020).

145. *Jaeger J. A. G.* Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation // *Landscape Ecology*. 2000. Vol. 15, iss. 2. P. 115–130.

146. *Jung M.* LecoS – A python plugin for automated landscape ecology analysis // *Ecological Informatics*. 2016. Vol. 31. P. 18–21.

147. *Kauth R. J., Thomas G. S.* The Tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral Temporal Development of Agricultural Crops as seen by Landsat [Electronic resource]. URL: https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1160&context=lars_symp (date of access: 18.02.2020).

148. Land Cover classification gridded maps from 1992 to present derived from satellite observations [Electronic resource]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-land-cover> (date of access: 16.01.2020).

149. Landsat 8 Quality Assessment Band [Electronic resource]. URL: <http://landsat.usgs.gov/L8QualityAssessmentBand.php> (date of access: 25.08.2020).

150. Landsat data continuity mission takes off [Electronic resource]. URL: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=80408&src=eo-a-iotd/> (date of access: 18.02.2020).

151. Landsat Missions – Frequently Asked Questions [Electronic resource]. URL: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat> (date of access: 28.08.2020).

152. Landscape Diversity : chapter / D. P. C. Peters [et al.] // Encyclopedia of Biodiversity / S. A. Levin. Amsterdam, 2013. Vol. 3. P. 476–487.

153. Landscape Fragmentation in Europe : joint EEA-FOEN report / Europæiske Miljøagentur ; Svejts, Bundesamt für UmweltE urope Environmental agency. Bern ; Copenhagen, 2011.

154. Landscape structure analysis package overview [Electronic resource]. – URL: <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.li.html> (date of access: 14.12.2019).

155. Lucas: A system for modeling land-use change / M. W. Berry [et al.] // IEEE Computational Science and Engineering Computational Science and Engineering. 1994. Vol. 3, iss. 1. P. 24–35.

156. Mapping Afforestation on Abandoned Lands in European part of former Soviet Union with Landsat Imagery And Google Earth Engine [Electronic resource] / I. Glushkov [et al.]. URL: https://drive.google.com/file/d/12EiEbxxG3iD8fzhkk0ex7o_gDrxh6XAm6/view (date of access: 20.09.2020).

157. McFeeters, S. K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features / S. K. McFeeters // International Journal of Remote Sensing. – 1996. – Vol. 17, iss. 7. – P. 1425–1432.

158. *McGarigal K., Cushman S. A., Ene E.* FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps [Electronic resource]. URL: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html/> (date of access: 14.01.2020).

159. Operational high resolution land cover map production at the country scale using satellite image time series [Electronic resource] / J. Inglada [et al.] // Remote Sensing. 2017. Vol. 9, iss. 1. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/1/95> (date of access: 22.06.2020).

160. *Oreopoulos L., Wilson M. J.* An overview of cloud masking and other research for Landsat and LDCM [Electronic resource]. URL: <https://www.usgs.gov/core-sciencesystems/nli/landsat/landsat-science-team-meeting-august-16-18-2011> (date of access: 27.08.2020).

161. *Oreopoulos L., Wilson M. J., Varnai T.* Implementation on Landsat Data of a Simple Cloud Mask Algorithm Developed for MODIS Land Bands // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2011. Vol. 8, iss. 4. P. 597–601.

162. Product User Manual. Moderate Dynamic Landcover 100 m. Version 1 [Electronic resource] // Copernicus Global Land Operations «Vegetation and Energy». URL: https://land.copernicus.eu/global/sites/cgls.vito.be/files/products/CGLOPS1_PUM_LC100m-V1_I1.00.pdf (date of access: 20.05.2020).

163. Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM+ data / P. V. Potapov [et al.] // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 122. P. 106–116.

164. Ray T. W. A FAQ on Vegetation in Remote Sensing [Electronic resource]. URL: http://www.remote-sensing.info/wp-content/uploads/2012/07/A_FAQ_on_Vegetation_in_Remote_Sensing.pdf (date of access: 09.09.2019).

165. Richards J. A., Xiuping J. Remote Sensing Digital Image Analysis. N. Y., 2006.

166. Rutledge D. Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process? Wellington, 2003.

167. SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses [Electronic resource]. URL: <http://www.saga-gis.org/en/index.html> (date of access: 08.03.2020).

168. Sentinel-2 [Electronic resource] // European Space Agency. 2020. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (date of access: 30.05.2020).

169. Sentinel-Hub [Electronic resource]. URL: <https://www.sentinel-hub.com> (date of access: 21.06.2019).

170. SNAP (Sentinel Application Platform) [Electronic resource] / ESA. URL: <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> (date of access: 29.12.2019).

171. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries [Electronic resource] / M. Lesiv [et al.] // Scientific Data. 2018. URL: <https://www.nature.com/articles/sdata201856> (date of access: 25.08.2019).

172. Spatial variation in determinants of agricultural land abandonment in Europe / Ch. Levers [et al.] // Science of The Total Environment. 2018. № 644. P. 95–111.

173. Taylor S., Letham B. Prophet: Automatic Forecasting Procedure [Electronic resource]. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/prophet/index.html> (date of access: 21.06.2019).

174. TerrSet 2020 Geospatial Monitoring and Modeling Software [Electronic resource]. URL: <https://clarklabs.org/tererset/> (date of access: 08.08.2020).

175. The MOLAND model for urban and regional growth forecast: A tool for the definition of sustainable development paths [Electronic resource] / C. Lavalle [et al.]. 2004. URL: http://www.riks.nl/resources/papers/EUR_21480_2004_Moland_model.pdf (date of access: 10.09.2020).

176. Uroy L., Ernoult A., Mony C. Effect of landscape connectivity on plant communities: a review of response patterns // Landscape Ecology. 2019. Vol. 34. P. 203–225.

177. USGS Global Visualization Viewer [Electronic resource] // USGS. Science for a changing world. URL: <http://glovis.usgs.gov/> (date of access: 21.01.2020).

178. *Walz U.* Indicators to monitor the structural diversity of landscapes // *Ecological Modelling*. 2015. Vol. 295. P. 88–106.

179. *Walz U.* Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity // *Living Reviews in Landscape Research*. 2011. № 5. P. 1–35.

180. *Wilkinson D. W., Parker R. C., Evans D. L.* Change Detection Techniques for Use in a Statewide Forest Inventory Program // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2008. Vol. 74, № 7. P. 893–901.

181. *Zhu Z., Curtis E. W.* Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery // *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 118. P. 83–94.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СОСТОЯНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ЗЕМЕЛЬ ЗАПАДНО-БЕЛОРУССКОЙ ПРОВИНЦИИ.....	7
1.1. Изученность проблемы оценки структуры и динамики земель....	7
1.2. Западно-Белорусская провинция как объект физико-географического исследования.....	18
1.3. Методические подходы к оценке структуры и динамики земель (по данным дистанционного зондирования Земли)	29
2. СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ КАРТ ВИДОВ ЗЕМЕЛЬ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ.....	42
2.1. Дистанционное зондирование Земли как инструмент географических исследований.....	42
2.2. Методика тематического картографирования видов земель	48
2.3. Оценка точности результатов дешифрирования	63
3. ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ВИДОВ ЗЕМЕЛЬ ЗАПАДНО-БЕЛОРУССКОЙ ПРОВИНЦИИ ЗА 1975–2017 гг. (ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)	67
3.1. Динамика структуры земель ландшафтов.....	67
3.2. Исторические этапы динамики структуры земель	92
3.3. Прогноз динамики структуры земель до 2025 г.	95
4. ОПТИМИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО РАЙОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТ ДИНАМИКИ СТРУКТУРЫ ЗЕМЕЛЬ И ГИС-АНАЛИЗА	98
4.1. Комплексная оценка земельно-ресурсного потенциала	98
4.2. Прогноз структуры земель до 2025 г. и разработка предложений по оптимизации землепользования	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ	120

Научное издание

Скачкова Александра Сергеевна
Курлович Дмитрий Мирославович

**ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ЗЕМЕЛЬ
ЗАПАДНО-БЕЛОРУССКОЙ ПРОВИНЦИИ
(ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)**

Редактор *Д. В. Мацур*
Художник обложки *Т. Ю. Таран*
Технический редактор *В. П. Явуз*
Компьютерная верстка *С. Н. Егоровой*

Подписано в печать 02.12.2022. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 7,90.
Уч.-изд. л. 7,96. Тираж 45 экз. Заказ 484.

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.