

## ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

The article contains a program method and algorithm of different forest harvesting process planning: such as concentrated and equal methods. Algorithm of efficient conditions of CTL skidding, realized in geographic information system MapInfo also are described in the article.

**Введение.** Прогресс в лесном комплексе страны возможен не только за счет использования современных многооперационных лесозаготовительных машин и оборудования на операциях последующей переработки круглых лесоматериалов, но и за счет применения достоверных методов планирования производственной деятельности всех участников процесса утилизации древесных ресурсов.

В рыночных условиях при решении вопросов реализации заготовленной древесины и продуктов ее переработки прогнозирование эксплуатационных характеристик предмета труда и параметров технических средств является нормой в практике лесопользования за рубежом и актуально для лесного комплекса Республики Беларусь.

На современном этапе эффективность планируемых технологических процессов лесосечных работ оценивается не только с позиций получения прибыли от потребления заготовленной древесины, но и в отношении компенсации воздействия на лесную среду, причиненного производственной деятельностью. Многофакторность данной задачи обуславливает необходимость использования при выборе оптимального решения современных методов математического описания и компьютерного моделирования.

В теории исследования операций такая задача относится к категории динамического программирования [1]. Суть решения задач данным методом заключается в искусственном делении исходной задачи на совокупность последовательных шагов. Поиск оптимального решения на каждом таком шаге обеспечит в итоге требуемый результат общей задачи.

Метод динамического программирования рекомендуется применить в проводимых исследованиях, так как рассматриваемые в настоящей работе задачи распределения рубок главного и промежуточного пользования по годам ревизионного периода и последующего формирования на основе такого распределения различных вариантов лесопользования являются составляющими более сложной комплексной задачи оптимизации транспортно-технологического освоения лесосечного фонда, которая в законченном виде будет реализована как структурный элемент информационной системы управления лесным хозяйством (ИСУЛХ).

**Выбор географической информационной системы.** Среди широко используемых в отрасли компьютерных программ выгодно отличаются географические информационные системы (ГИС), имеющие обширные функциональные возможности всестороннего анализа пространственно распределенных объектов и наглядно демонстрирующие не только конечный, но и промежуточные результаты вычислений.

В Беларуси создана и используется в лесхозах отечественная географическая информационная система «Лесные ресурсы» [3]. Современное лесоустроительное проектирование в республике осуществляется на базе всемирно известной геоинформационной системы MapInfo. Начато распространение в опытные лесхозы республики созданной на основе этой программы технологии формирования цифровых моделей лесхозов ForMode.

В настоящее время географическая информационная система MapInfo Professional является признанным лидером в области цифрового картографирования. В дополнение к традиционным для систем управления базами данных функциям, MapInfo позволяет собирать, хранить, отображать, редактировать и обрабатывать картографические данные, хранящиеся в базе данных, с учетом пространственных отношений между объектами [2, 4].

В одном сеансе работы одновременно могут использоваться данные различных форматов.

Встроенный язык запросов SQL, благодаря географическому расширению, позволяет организовывать выборки с учетом пространственных отношений объектов. Запросы к базе данных можно сохранять в виде шаблонов для дальнейшего использования. В MapInfo имеется возможность поиска и нанесения объектов на карту по координатам или системе индексов.

С учетом функциональных возможностей и перспектив развития отраслевой ГИС информационной основой разрабатываемых процессов планирования и организации своевременного и рационального освоения лесосечного фонда, оперативного управления транспортными системами, в том числе и с применением современных навигационных систем, была выбрана географическая информационная система MapInfo Professional.

**Планирование лесопользования на ревизионный период.** На основании ранее предложенных алгоритмов распределения лесосек по годам ревизионного периода в данной работе будет рассмотрена последовательность вычислений, обеспечивающих формирование различных режимов лесопользования [5].

Расчеты основных организационно-технических элементов сплошных и несплошных рубок главного пользования и рубок ухода выполняются по составленным автором программам на языке MapBasic, который является средой программирования для ГИС MapInfo Professional.

Параметры древостоев извлекаются из базы данных «Повыдельная характеристика лесов», которая формируется по результатам лесоустроительного проектирования. На начальном этапе формируется рабочий набор конкретного лесничества в соответствии с принятыми условными обозначениями планируемых хозмероприятий (рис. 1).

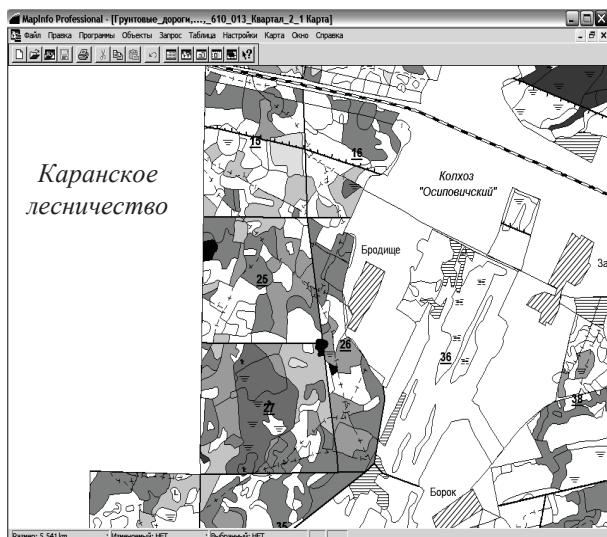


Рис. 1. Формирование рабочего набора лесничества

Такой рабочий набор отличается от создаваемого при обработке материалов лесоустройства наличием только необходимых для расчета картографических слоев объектов, что значительно увеличивает скорость выполнения расчетов.

После этого поочередно выполняется расчет сплошных и несплошных рубок главного пользования и рубок ухода рубок главного пользования. В результате вычислений для каждой категории лесопользования формируются карты, на которых выделены территории под конкретный вид рубок, а эксплуатационные характеристики древостоев помещаются в соответствующие таблицы. Структура этих таблиц обусловлена характерными организационно-техническими элементами каждого вида рубок.

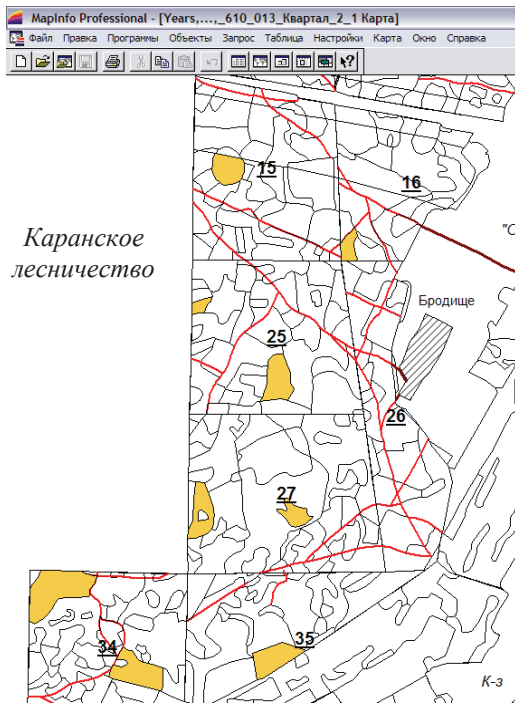
На рис. 2 представлены фрагменты карт и таблиц для рассматриваемых рубок главного и промежуточного пользования.

Далее следует обеспечить формирование групп лесосек для последующего их освоения в конкретный год ревизионного периода.



ForestCode	Num_vd	Возраст_дпес	Класс_возраста	Возраст_рубки	Number_k	PkFirst	PkLast	Y_2003	Y_2004
38 534	3	50	10	41	1	2 003	2 003	50	0
38 540	9	60	10	61	9	2 004	2 012	0	61
38 542	11	105	20	81	1	2 003	2 003	105	0
38 554	23	56	10	51	5	2 003	2 007	56	57
38 579	48	85	20	81	10	2 003	2 012	85	86
38 582	51	60	10	61	9	2 004	2 012	0	61
38 533	2	65	10	41	1	2 003	2 003	65	0
38 594	10	85	20	81	10	2 003	2 012	85	86
38 637	5	80	10	61	1	2 003	2 003	80	0
38 639	7	50	10	51	9	2 004	2 012	0	51
38 640	8	65	10	61	6	2 003	2 008	65	66
38 641	9	80	10	51	1	2 003	2 003	80	0
38 643	11	65	10	61	6	2 003	2 008	65	66
38 645	13	95	20	81	6	2 003	2 008	95	96
38 659	27	85	20	81	10	2 003	2 012	85	86

Рис. 2. Расчет параметров рубок главного и промежуточного пользования на ревизионный период:  
*а, в, д* – отображение выделов, в которых планируются соответственно сплошные и несплошные рубки главного пользования, а также рубки ухода;  
*б, г, е* – таблицы, содержащие характеристики соответствующих рубок (см. также с. 136)



6

Num_vd	Возраст_рубки	Возраст_древ	Возраст_первого	Класс_возр	Число_пр	Повторы	Прошлые_пр	Будущие_пр	Применя_10	A_First	P_First	Y_First
<input type="checkbox"/>	2	101	101	101	20	2	10	0	2	1	101	1 2 003
<input type="checkbox"/>	28	101	60	101	20	4	5	0	4	0	0	0
<input type="checkbox"/>	22	61	55	61	10	2	5	0	2	1	61	7 2 009
<input type="checkbox"/>	7	71	80	75	10	2	3	2	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	13	81	85	83	20	4	5	1	3	1	89	5 2 007
<input type="checkbox"/>	29	61	61	61	10	5	2	0	5	4	61	1 2 003
<input type="checkbox"/>	25	71	71	80	10	4	0	0	4	1	80	10 2 012
<input type="checkbox"/>	24	81	65	83	20	2	9	0	2	0	0	0
<input type="checkbox"/>	24	61	75	61	20	4	5	3	1	1	79	5 2 007

2



д

ForestCode	Num_vd	Area_vd	Num_kv	Area_kv	Порода	Y_2003	Y_2004	Y_2005	Y_2006	Y_2007	Y_2008	Y_2009	Y_2010
<input type="checkbox"/>	40 301	17	2,5	34	86	304110	21	25	28	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	39 610	5	0,9	27	121	202300	0	0	46	0	0	49	0
<input type="checkbox"/>	39 746	11	9,2	25	102	302600	0	0	37	0	0	0	10
<input type="checkbox"/>	40 332	9	2,7	35	69	304300	0	0	38	0	0	41	0
<input type="checkbox"/>	39 347	29	5,7	15	102	304000	15	0	0	0	34	0	0
<input type="checkbox"/>	39 380	11	8,3	16	68	100200	22	20	0	28	0	0	31

е

Рис. 2. Окончание

Указанные выше группы лесосек формируются по принципу строгого соблюдения планируемых числа приемов и повторяемости между ними для несплошных рубок главного и промежуточного пользования. При этом допускается обоснованная корректировка организационно-технических элементов каждого вида рубок.

В основу формирования групп лесосек положены принципы максимальной концентрации лесосек на единице площади лесфонда и равномерного режима лесопользования.

Условием, обеспечивающим высокий показатель концентрации лесосек, является необходимость освоения квартала преимущественно в годы проведения приемов несплошных рубок.

В свою очередь, равномерный режим лесопользования достигается в том случае, если для конкретной группы лесосек значение суммы квадратов отклонений площадей каждой лесосеки от среднегодовой величины площади лесопользования в квартале будет минимальным.

Сказанное выше предлагается рассмотреть на примере формирования различных режимов лесопользования для условий квартала № 15 Татарковского лесничества ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз».

На рис. 3 представлена таблица распределения лесосек, расположенных в рассматриваемом квартале по годам ревизионного периода.

Num_vd	Area_vd	Num_kv	Area_kv	Y_2003	Y_2004	Y_2005	Y_2006	Y_2007	Y_2008	Y_2009
29	5,7	15	102	0	0	0	0	34	0	0
24	3,3	15	102	74	0	0	77	0	0	0
42	1,4	15	102	85	86	87	88	89	90	90
31	1,4	15	102	65	66	67	68	69	70	70
34	3,0	15	102	85	86	87	88	89	90	90
45	4,5	15	102	85	86	87	88	89	90	90
38	4,0	15	102	85	86	87	88	89	90	90

Рис. 3. Таблица распределения лесосек квартала № 15 по годам ревизионного периода

Согласно приведенной выше таблице, сплошные рубки в выделах 42, 34, 45 и 38 могут планироваться в какой-нибудь год выполнения очередных приемов рубки ухода (выдел 29) и несплошной рубки главного пользования (выдел 24), т. е. в 2003, 2006, 2007, 2009 или 2012 году, а для выдела номер 31 – в 2003, 2006 или 2007 году.

На рис. 4 показан алгоритм формирования различных режимов лесопользования, в соответствии с которым общими условиями выбора оптимального решения являются:

- назначение всех лесосек в квартале в рубку;
- минимально-возможное число лет освоения квартала.



Рис. 4. Структурная схема алгоритма формирования различных режимов лесопользования

Равномерный режим лесопользования подразумевает, что в 2003 году вместе с приемом сплошной рубки в выделе номер 24 будет проведена сплошная рубка в выделах 31 и 42; в 2006 году сплошная рубка в выделе 34 назначается одновременно с очередным приемом рубки в выделе 24. В 2007 году следует провести только рубку ухода в выделе 29. В 2009 году – рубки в выделах 24 и 45, а в 2012 году – рубки в выделах 24 и 38.

Ежегодное изменение площади лесопользования в квартале при выбранном распределении лесосек в среднем составляет 6%, что является минимальным из всех возможных вариантов. При этом лесопользование в квартале будет осуществляться в течение пяти лет.

Максимальная концентрация лесосек при данном режиме лесопользования достигается в 2009 году. Для этого года показатель концентрации лесосек по площади равен 7,6% [6].

На рис. 5 отмечены выдела квартала № 15, планируемые в рубку в различные годы ревизионного периода (равномерное лесопользование).

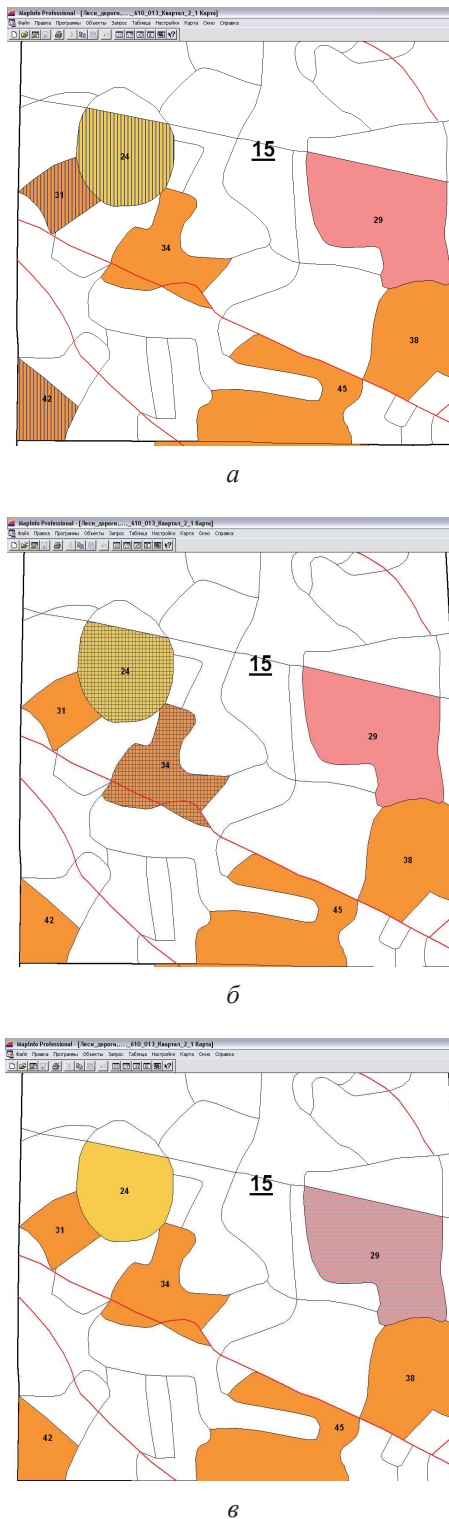
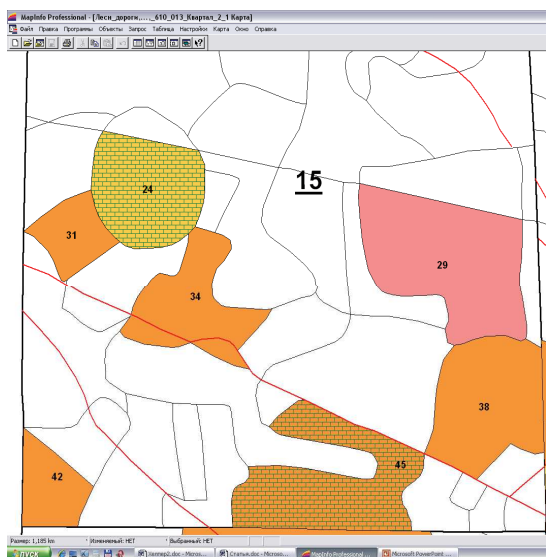
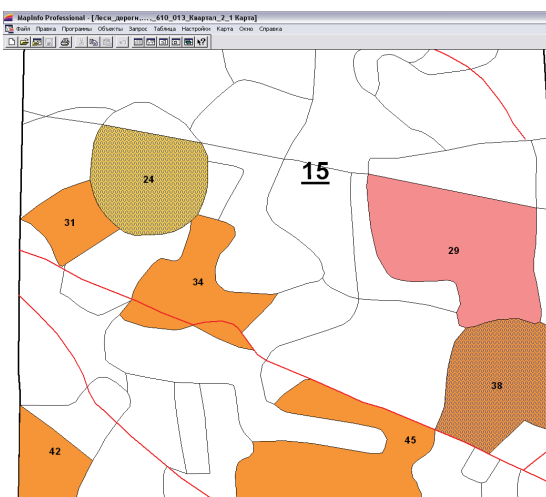


Рис. 5. Иллюстрация равномерного режима лесопользования в исследуемом квартале по годам: а – 2003; б – 2006; в – 2007; г – 2009; д – 2012 (см. также с. 138)



з



д

Рис. 5. Окончание

В свою очередь рисунок 6 демонстрирует максимальную концентрацию лесосек в квартале.

Продолжительность освоения квартала для рассматриваемого режима лесопользования составляет пять лет. Максимальная концентрация лесосек достигается в 2007 году. Для этого года показатель концентрации лесосек по площади равен 19,6% [6].

Практика подобного анализа показывает, что в квартале возможны различные варианты как равномерного, так и концентрированного лесопользования. Благодаря этому появляется возможность принимать комплексное решение по всему лесосечному фонду, в том числе и с учетом характеристик существующей лесотранспортной сети.

**Формирование рациональных условий трелевки сортиментов.** Имея в наличии организованный рассмотренными способами лесосечный фонд впоследствии необходимо освоить его своевременно и в полном объеме. Для этого следует подвергнуть анализу

машины и оборудование, которыми располагают лесопользователи.

Основным технико-экономическим показателем эксплуатации лесозаготовительного оборудования является его производительность. Несмотря на уже имеющийся опыт создания отечественными машиностроительными предприятиями многооперационных лесозаготовительных машин на заготовке древесины, традиционными являются бензиномоторные пилы на валке деревьев, очистке их от сучьев и раскряжевке хлыстов на сортименты, а также тракторы с тросочокерным оборудованием или погрузочно-транспортные машины (форвардеры) на трелевке. В таких лесозаготовительных системах ведущей машиной является трелевочный трактор, на производительность которого оказывают влияние средний объем хлыста, нагрузка на рейс, среднее расстояния трелевки, а для форвардеров, кроме перечисленных параметров, еще и интенсивность рубки древостоя, запас древесины на 1 га, ширина полосы леса, которую может освоить машина за один проход, средняя длина перевозимых сортиментов и др. В каждом конкретном случае управляемыми параметрами для рассматриваемых машин могут быть объем перевозимой пачки за один рейс и среднее расстояние трелевки. Нагрузка на рейс трелевочной машины (ТМ) обусловлена необходимостью обеспечения перемещения этой машины в конкретных природно-производственных условиях, в то время как предельное среднее расстояние перемещения круглых лесоматериалов этой ТМ определяется на этапе планирования производственно-хозяйственной деятельности предприятия на очередной период (месяц, квартал и т. д.).

Ввиду того, что погрузочно-транспортные машины осуществляют подвозку сортиментов на промежуточные склады, которые часто располагаются у дорог общего пользования, для определения производительности используемой ТМ необходимо исследовать структуру лесотранспортной сети на предмет установления скоростных режимов движения трелевочной машины.

С учетом сказанного выше формирование рациональных условий трелевки сортиментов предлагается выполнить в следующей последовательности.

Для каждой лесосеки устанавливается центр запаса древесины (ЦЗД). При этом предполагается, что весь запас древесины сосредоточен в центре выдела. Так как большинство выделов имеют неправильную форму, программа, выполняющая расчет координат ЦЗД, может представлять точечный объект, создаваемый по этим координатам с некоторыми отклонениями.

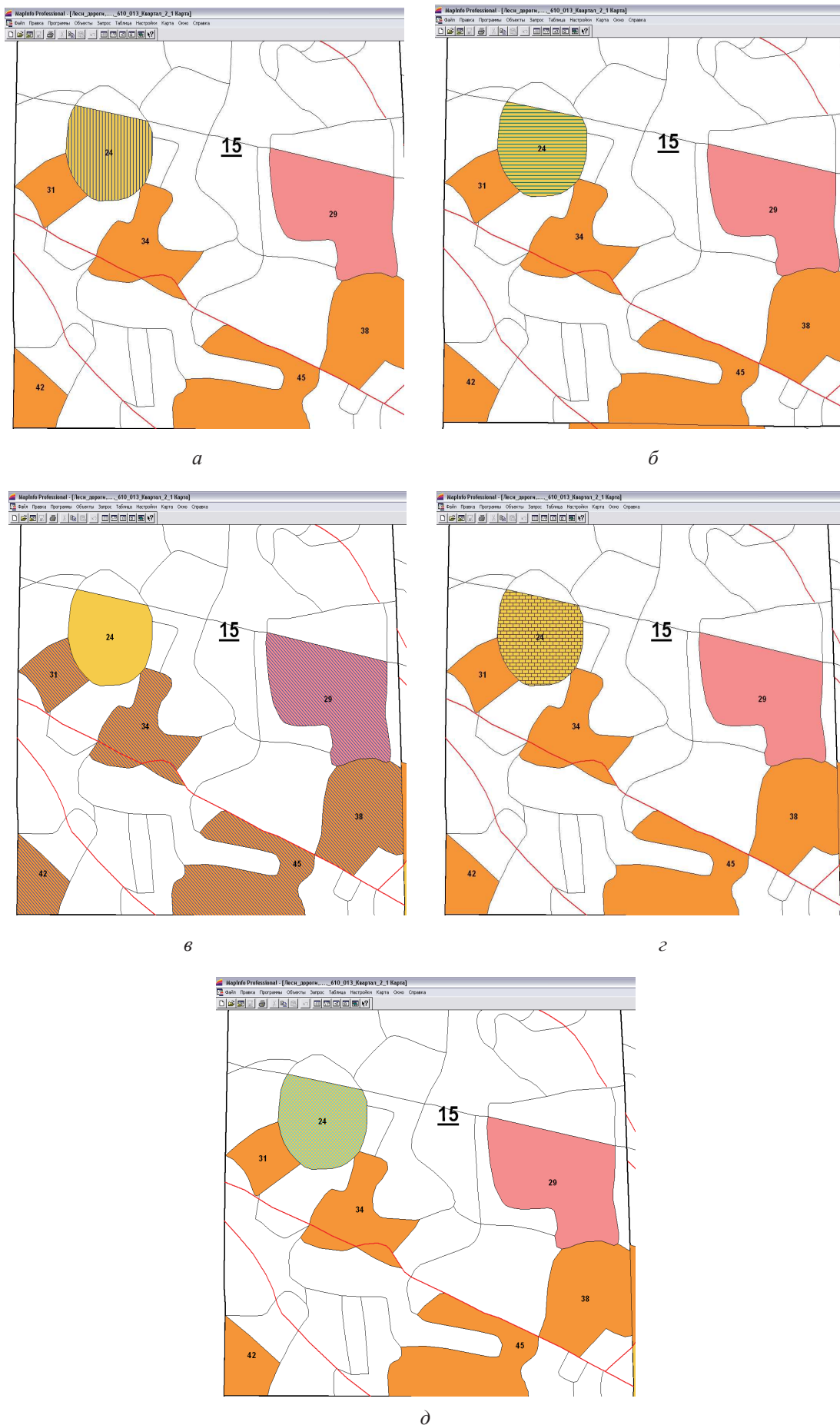


Рис. 6. Иллюстрация концентрированного режима лесопользования в исследуемом квартале по годам:  
*а* – 2003; *б* – 2006; *в* – 2007; *г* – 2009; *д* – 2012

В этом случае пользователю дана возможность самостоятельно определить положение центра выдела (лесосеки) и заново выполнить перерасчет координат. Если для каких-либо выделов положение на карте ЦЗД не менялось, программа продублирует прежние координаты (рис. 7).

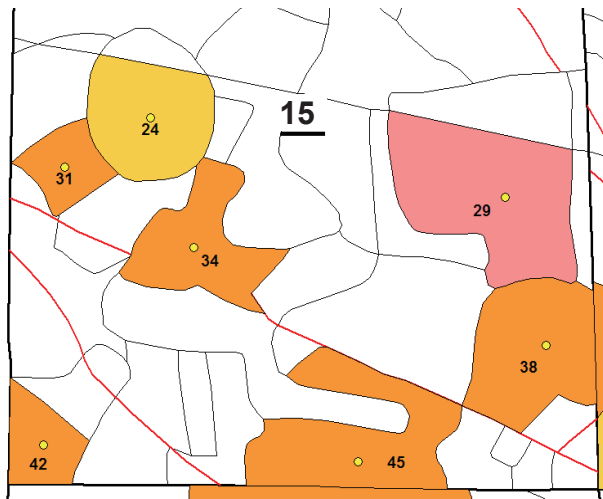


Рис. 7. Вычисление центра запаса древесины в выделах

В работе [7] также рассматривается решение аналогичного вопроса, однако при ознакомлении с предлагаемыми подходами выявлен ряд сложностей: прежде всего авторы рекомендуют в случае назначения в рубку нескольких лесосек, расположенных в одном квартале, искать для них общий центр запаса леса, что возможно только при условии, когда эти лесосеки находятся непосредственно друг возле друга; более того, в статье предлагается использовать картографический материал на бумажных носителях, что только увеличит число экземпляров карты местности и тем самым усложнит обработку имеющейся информации.

С целью устранения отмеченных недостатков предлагаемого подхода установления ЦЗД, в применяемой ГИС использована функция определения центра замкнутого объекта и его координат.

После этого каждый такой ЦЗД необходимо привязать к существующей транспортной сети. Предполагается, что для соседних участков лесопользования будет одинаковое направление вывозки лесоматериалов, а соответственно, и направление трелевки. Данное условие является важным, так как на основании этого решается задача рационального размещения промежуточных пунктов штабелевки и временного хранения заготовленных лесоматериалов.

В процессе формирования маршрута трелевки древесины дифференцируется транспортная сеть по типу дорог. Это делается для того, чтобы установить скоростные режимы рабочего и холостого ходов трелевочной машины (ТМ) (рис. 8).

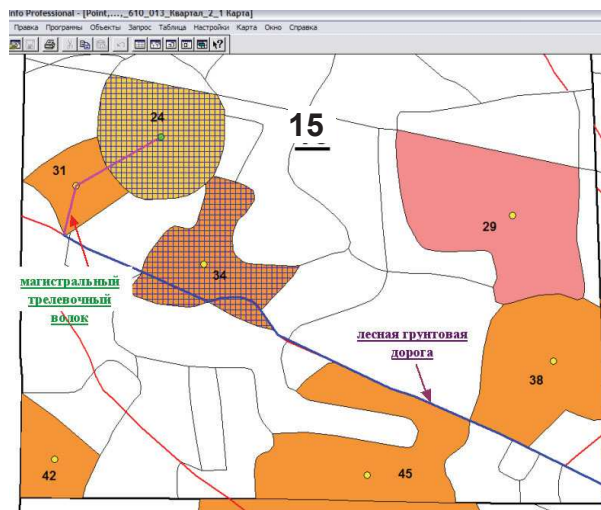


Рис. 8. Установление маршрута трелевки сортиментов

Определяющим параметром при анализе факторов, оказывающих влияние на производительность трелевочной машины, как уже отмечалось выше, является объем пачки сортиментов, перевозимых машиной за один рейс. Существующие методики определения нагрузки на рейс ТМ [8–10] применимы в том случае, когда известна величина уклона пути. Так как процесс оптимизации транспортных элементов на лесосеке не является целью настоящих исследований, предлагается определять искомый параметр исходя из условия обеспечения сцепления движителя ТМ с трелевочным волоком на лесосеке и преодоления сил сопротивления трелевочного трактора при его перемещении по дорогам различного типа от центра лесосеки до места вероятного устройства погрузочного пункта.

Для определения величины нагрузки на рейс конкретной трелевочной машины строятся графики зависимости коэффициентов сцепления и сопротивления качению от объема пачки перевозимых этой машиной сортиментов при движении на различных скоростных режимах. Вид таких зависимостей для форвардера МЛ-131 представлен на рис. 9.

На приведенном рисунке коэффициент сцепления представлен для условий трелевочного волока, а коэффициент сопротивления качению – для нескольких типов дорог, по которым возможна подвозка сортиментов с лесосеки на погрузочный пункт [11].

Ввиду дефицита средств на строительство лесных дорог, при трелевке сортиментов погрузочно-транспортными машинами в качестве транспортного пути от лесосеки до существующей дороги широко используют квартальные просеки.

Установив на основании зависимостей рис. 9 объем перевозимой пачки и скорости движения ТМ по дорогам различного типа в грузовом и порожнем направлениях, можно определить производительность машины при работе в кон-

кретных природно-производственных условиях. Для этих целей можно воспользоваться расчетами, содержащимися в работе [12].

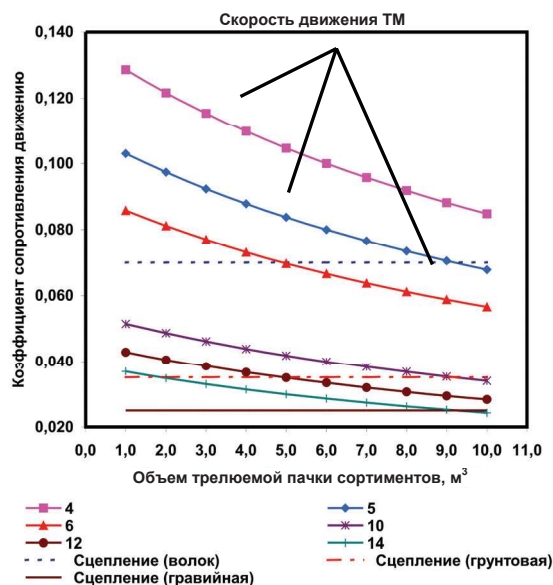


Рис. 9. Зависимость коэффициентов сцепления и сопротивления качению от скорости движения и нагрузки на рейс форвардера МЛ-131

При планировании лесопользования на очередной период предприятия устанавливают предельное значение выработки на конкретную машину с учетом наиболее характерных условий ее эксплуатации. В этой связи необходимо, зная предельную величину выработки на ТМ, определить допустимое расстояние трелевки (подвозки) сортиментов для условий каждой лесосеки.

Исходя из того, что находящиеся рядом лесосеки могут тяготеть к одним и тем же лесотранспортным путям, с учетом изложенного выше представляется возможность определения местоположения общего для нескольких лесосек погрузочного пункта (промежуточного склада).

Структурная схема алгоритма формирования рациональных условий трелевки сортиментов техническими средствами конкретного предприятия представлена на рис. 10. По данному алгоритму в ГИС MapInfo устанавливаются области рационального использования лесозаготовительного оборудования, планируемого к использованию на различных рубках.

Ниже рассматривается пример определения места размещения промежуточного склада с учетом типа применяемой ТМ и структуры лесотранспортной сети при заготовке сортиментов.

На рис. 11 показаны начальные условия расчета, а на рис. 12 и 13 соответственно иллюстрация места размещения погрузочного пункта на карте и итоговые таблицы вычисления. Особенностью этого расчета на данном этапе является необходимость ручной прорисовки элементов лесотранспортной сети.



Рис. 10. Структурная схема алгоритма формирования рациональных условий трелевки сортиментов

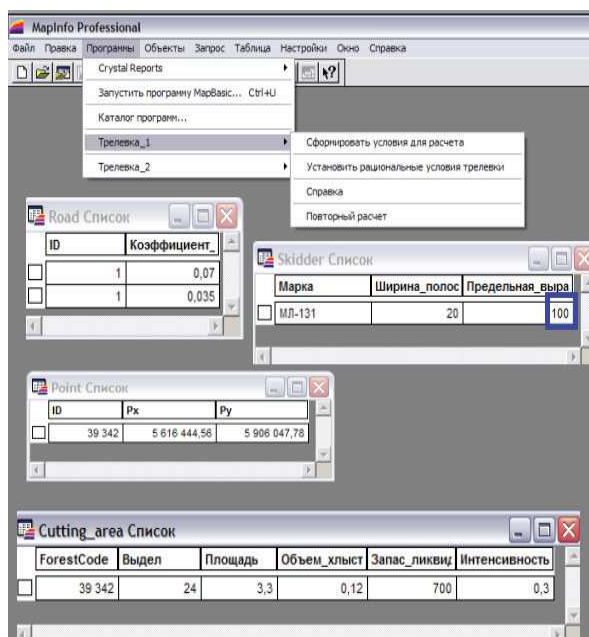


Рис. 11. Исходные данные для определения места размещения погрузочного пункта по предельному значению нормы выработки на ТМ



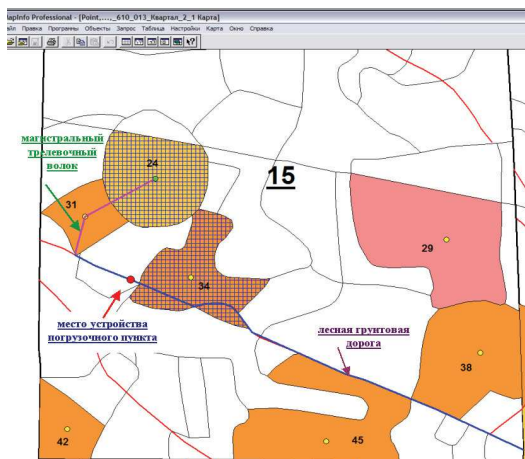


Рис. 12. Иллюстрация места размещения погрузочного пункта на карте

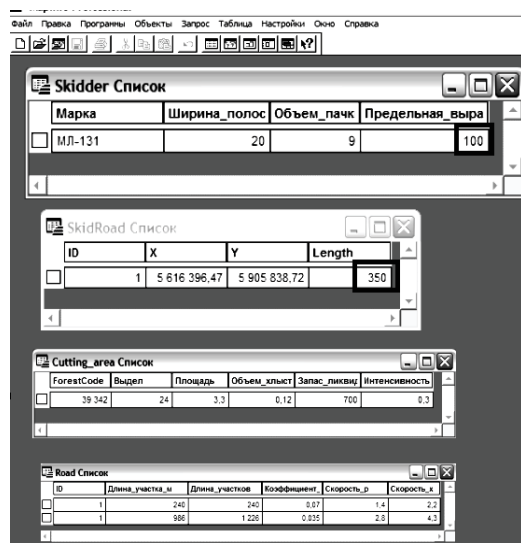


Рис. 13. Результирующие таблицы определения места размещения погрузочного пункта по предельному значению нормы выработки на ТМ

Возможен и автоматизированный режим выполнения такой операции, однако это потребует глубокой детализации характеристик транспортных путей при выполнении лесоустроительных работ.

Используемая ГИС позволяет также по факту обнаружения изменений осуществлять корректировку параметров дорог, убирать те элементы, которые носили временный характер, вносить в соответствующую базу данных недавно введенные в эксплуатацию транспортных путей.

**Выводы.** Увеличение степени механизации работ на заготовке древесины является возможным за счет создания рациональных условий совместного осуществления рубок главного и промежуточного пользования одной системой лесозаготовительных машин.

В виду того, что рубки ухода, как правило, характеризуются небольшим ликвидным запасом на выделе, компенсировать снижение выработки на трелевочную машину по сравнению с рубкой главного пользования можно за счет управления такими технологическими параметрами как ширина паса-

ки, нагрузка на рейс и среднее расстояние трелевки. Кроме этого внедрение в производство рассмотренных подходов организации лесопользования позволит рационально использовать парк технических средств конкретного предприятия с учетом фактического состояния лесотранспортной сети и планируемых показателей его производственной деятельности.

Предлагаемая программа дает возможность осуществлять планирование лесопользования на ревизионный период на этапе обработки и анализа материалов лесоустройства в проектной организации, а также корректировать объемы и виды рубок с учетом фактических результатов как на очередной год, так и на менее продолжительный отчетный период (квартал или месяц) уже непосредственно в лесохозяйственных учреждениях.

## Литература

1. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1980. – 208 с.
2. Герасимов, Ю. Ю. Геоинформационные системы / Ю. Ю. Герасимов, С. А. Кильпельянен, Г. А. Давыдов. – Йознесуу, 2001. – 201 с.
3. Атрощенко, О. А. Дистанционные методы зондирования лесов и геоинформационные системы в лесном хозяйстве / О. А. Атрощенко, И. В. Толкач. – Минск: БГТУ, 2003. – 375 с.
4. Программы /MapInfo/MapInfo Professional/tabid/61/Default.aspx [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.esti-map.ru>.
5. Федоренчик, А. С. Теория и методика концентрации лесосечного / А. С. Федоренчик, А. И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XVI. – С. 20–26.
6. Хотянович, А. И. Показатели оценки эффективности лесопользования с применением геоинформационных систем / А. И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 42–46.
7. Григорьев, И. В. Координатно-объемная методика трассирования при освоении лесосек трелевкой / И. В. Григорьев, А. И. Жукова // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2004. – № 4. – С. 40–44.
8. Дороги и транспорт лесной промышленности: справ. пособие / И. И. Леонович [и др.]; под ред. И. И. Леоновича. – Минск: Вышэйшая школа, 1979. – 416 с.
9. Вырко, М. П. Сушапутны транспорт лесу: падручнік / М. П. Вырко. – Мінск: БДТУ, 2003. – 493 с.
10. Матвейко, А. П. Технология и машины лесосечных работ / А. П. Матвейко, А. С. Федоренчик. – Минск: Технопринт, 2002. – 457 с.
11. Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз [и др.]; под ред. В. И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 272 с.
12. Заготовка сортиментов на лесосеке / А. В. Жуков [и др.]. – М.: Экология, 1993. – 312 с.