ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ
И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ»
ПРИДНЕСТРОВСКОЙ МОЛДАВСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

На правах рукописи

Марунич Николай Андреевич

ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИДНЕСТРОВЬЯ

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук, профессор
Кочуров Борис Иванович

Бендеры - 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ....4

ГЛАВА 1.ТЕОРИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ..11

1.1. Теоретико-методологические основы геоэнергетического подхода.. 11

1.2. Геоэкологические аспекты исследования 18

1.3. Методика работы…….23

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИДНЕСТРОВЬЯ..... 27

2.1. Географическое положение и ландшафтная дифференциация дубрав27

2.2. Земельные ресурсы и эколого-хозяйственный баланс..... 35

2.3. Лесной фонд, растительные, лесорастительные условия и трансформация лесных экосистем 39

2.4. Проблемы функционирования лесных экосистем (на примере урочища Калагур Рыбницкого района)..... 49

2.5. Анализ путей оптимизации функционирования дубрав..... 53

ГЛАВА 3. ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ 66

3.1. Оценка геоэкологической емкости лесной экосистемы 66

3.2. Оценки эффективности вариантов восстановления лесных экосистем Приднестровья 73

3.3. Система автоматизации геоэнергетической оценки лесных экосистем 93

3.4. Энергоэффективная схема оптимизации лесовосстановления 98

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 102

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 105

ПРИЛОЖЕНИЯ..... 120

Приложение 1. Расчет геоэнергетических затрат по основным средствам производства для различных вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем……121

Приложение 2. Расчет геоэнергетических затрат по оборотным средствам вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем……125

Приложение 3. Расчет геоэнергетических затрат по трудовым ресурсам вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем……127

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Геоэкологическое состояние лесных экосистем в условиях глобальных изменений климата и усиления хозяйственной деятельности с конца 70-х гг. XX в. в России, Украине и Молдавии резко ухудшилось [62,63], что выразилось в сокращении благоприятных для них условий функционирования, сокращении биологического разнообразия флоры, фауны и др., вплоть до обезлесивания обширных лесостепных и степных территорий. В Приднестровье катастрофически гибнут уникальные лесные экосистемы - дубравы, что влечёт за собой негативные социальные и экономические последствия для населения. Несмотря на повсеместные призывы и декларируемую государствами политику энергосбережения, мировые удельные затраты потребляемой энергии, в том числе биогенной (каменный уголь, торф, дрова и др.) за последнее столетие возросли в 10 и более раз. Все это определяет общенаучную значимость и актуальность более глубокого изучения проблем оптимизации лесопользования и разработки энергоэффективных технологий лесовосстановления [36,43,110,111].

В геоэкологии и географии появился ряд научных направлений, исследовательских групп ученых, занятых поисками путей оптимизации лесохозяйственной деятельности. К ним относятся представленные в данной работе геоэнергетический подход и методика оценки (с эколого-энергетических позиций) вариантов более рационального использования лесных ресурсов, эффективного развития экономики лесохозяйственного комплекса в условиях Приднестровья и создания в этом приграничном регионе более благоприятных геоэкологических условий существования человека [44,45].

Лесной фонд Приднестровья сокращается в результате несоразмерных воспроизводству вырубок и занимает в настоящее время всего 7,6 % общей площади (0,04 га леса на душу населения), что значительно меньше, чем во многих других регионах и странах мира. Широколиственные леса здесь

представлены в основном ясенем, грабом, липой, но около трети ареала лесов составляют дубравы и искусственные насаждения.

Предлагаемый подход и разработанная на его основе методика оценки энергоэффективности лесовосстановления дубрав позволяют наиболее корректно сравнивать различные по характеру освоения лесохозяйственные объекты и процессы лесопользования с помощью геоэнергетических показателей в джоулях эквивалентах стоимости разнообразной лесной продукции. В отличие от биржевых значений валют и цен, геоэнергетические показатели не зависят от чьих-то желаний и спекуляций. Они достаточно четко измеряемы и применимы для изучения состояния и функционирования лесных экосистем и оптимизации лесовосстановления по наиболее эффективному в эколого-экономическом отношении варианте.

Лесная экосистема представляется исследователем в виде природной геоэнергетической лаборатории, преобразующей с помощью солнечной энергии воду и углекислый газ в питательные для членов лесного сообщества вещества. При этом принимается во внимание, что в процессе фотосинтеза в экологически стабильных лесах количество потребляемого растениями углекислого газа не превышает величину его выделения в атмосферу Земли.

Приднестровские дубравы – исчезающая, хотя все ещё саморегулирующаяся система, в состав которой входят виды, приспособившиеся в процессе эволюционного развития к сосуществованию; наряду с конкурентными между ними выработались и полезные взаимоотношениями [104]. Проблема сохранения и восстановления дубрав здесь стоит особенно остро, повсеместно в них сокращается разнообразие лесообразующих пород, разрушается лесной покров и, как следствие, нарушаются важнейшие взаимосвязи растений и животных в лесной экосистеме, определяющие эффективность их функционирования как единого биогеоценоза [61].

Естественные леса многоцелевого назначения и лесные хозяйства представляют собой совершенно разные экосистемы в отношении затрат, необходимых на их поддержание их биогеохимических функций в

удовлетворении множества потребностей человека [105]. Все леса Приднестровья относятся к категории, выполняющей природоохранные функции. Для их восстановления и сохранения особенно значимы поиск путей неистощительного (сбалансированного) лесопользования и внедрение в практику лесовосстановления энергоэффективных технологий.

Объект - лесные экосистемы Приднестровья.

Предмет – закономерности лесовосстановления и функционирования лесных экосистем Приднестровья с использованием геоэнергетического подхода и соответствующей ему методики анализа.

Цель - разработать геоэнергетический подход, методику оценки, исследовать эффективность функционирования и восстановления лесных экосистем Приднестровья на основе концепции сбалансированного лесопользования.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1) проанализировать природные условия, состояние лесного фонда, характер и уровень антропогенной нагрузки, существующие технологии лесовосстановления в Приднестровье;

2) обосновать подход и разработать методику геоэнергетической оценки состояния восстанавливаемых лесных экосистем;

3) создать автоматизированную информационную систему оптимизации функционирования лесной экосистемы с учетом её энергопотенциала и выбора наиболее эффективной технологий лесовосстановления;

4) усовершенствовать принципиальную схему (алгоритм) оптимизации лесовосстановления Приднестровья на основе геоэнергетического подхода.

Диссертация выполнена в соответствии с паспортом научной специальности по пунктам: 1.9 «Оценка состояния, изменений и управление современными ландшафтами», 1.11 «Геоэкологические аспекты функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем» 25.00.36 – геоэкология (науки о Земле).

Изложенные положения и выводы развивают геоэнергетический подход и оценку на его основе эффективности функционирования лесных экосистем в специфических региональных условиях Приднестровской Молдавской Республики. Эмпирико-статистические расчеты и картографическое обоснование взаимодополнительны и непротиворечивы, экспертные оценки других исследователей подтверждают **достоверность полученных результатов.**

Степень разработанности проблемы и теоретическая основа исследования. Разработанный автором геоэнергетический подход базируется на идеях и трудах российских и зарубежных ученых. Многие из них (Вернадский, 1940, Pimentel, Rodrigues, Wane, 1994, Odum H. 1971, 1996) заложили фундаментальные основы анализа биоэнергетических потоков в экосистемах и предприняли первые попытки оценить связи вещественных, энергетических и информационных потоков в биосфере.

В процессе выполнения работы автором были изучены труды многих российских географов и геоэкологов (Кочуров, 2003 - 2011, Сысуев, 2013, Поздняков, 1995 - 2012, Соколов, 2013, Смирнов 2007, 2011, Шуркина, 2008, 2009 и др.), специалистов в области природопользования (Захаров, 2010, Лобковский, 2008, Иванова, 2010, Миндрин, 1997, 2003, Фузелла, 2010 и др.), экологии лесных экосистем (Минлебаев, 2013, Маяцкий, 1978 - 2010, Порицкий, 1978, 1981, Пятницкий, 1968), предложивших ряд эколого-экономических и энергетических подходов и эколого-географических методов повышения эффективности лесопользования. Однако системно роль важнейших природных, природно-технических и технологических составляющих лесовосстановления для оптимизации природопользования до настоящего времени не раскрывалась.

Методическая основа исследования: сравнительно-географический, карто-графический, геоэнергетический, эмпирико-статистический, геоинформационный и др. методы. Полученный автором фактический материал обработан с применением компьютерных программ (Microsoft Excel, AutoCAD, Visual Basic 6.0, Delphi 7).

Эмпирическая база исследования:

- непосредственное участие автора в получении и обработке фактического материала - результатов экспедиционных и камеральных работ; расчеты и оценки эффективности лесовосстановления за период 2010-2018 гг.; систематизация данных из отечественных и зарубежных источников по геоэкологическим аспектам лесохозяйственной деятельности, эколого-энергетическому анализу и др.; заложение пробных площадок в урочище Калагур; статистическая обработка полученных данных;

- официальные материалы министерств и ведомств - сельского хозяйства и природных ресурсов о составе древесных пород и фитомассе лесных экосистем, сведения о технологических затратах лесхозов на осуществляемую деятельность; данные республиканской гидрометеорологической службы об интенсивности солнечной радиации, температуре воздуха, осадках за период наблюдений и др.

Научная новизна:

– впервые разработаны геоэнергетический подход и на его основе методика оценки восстановления лесных экосистем Приднестровья;

– охарактеризовано геоэкологическое состояние лесов Приднестровья и проанализированы методы оптимизации лесопользования в разных природных условиях;

– предложена природосообразная технология восстановления дубрав Приднестровья (на примере урочища Калагур Рыбницкого района);

– усовершенствована схема оптимизации лесовосстановления в условиях Приднестровья;

– создана автоматизированная информационная система расчета эффективности функционирования восстанавливаемой лесной экосистемы.

Основные положения, выносимые на защиту:

1.Теоретико-методологические обоснование геоэнергетического подхода и методики оценки энергопотенциала лесных экосистем в различных природно-технологических вариантах лесопользования и лесовосстановления.

2. Закономерности лесовосстановления и особенностей функционирования лесных экосистем Приднестровья в условиях аридизации климата и высоких антропогенных нагрузок.

3.Усовершенствованная схема оптимизации лесовосстановления, на основе повышения его геоэнергетической эффективности.

4.Автоматизированная информационная система расчета геоэнергетической эффективности функционирования восстанавливаемой лесной экосистемы.

Теоретическая значимость диссертации состоит в разработке геоэнергетического подхода на его основе методики оценки эффективности функционирования и восстановления лесных экосистем, выявления на их основе закономерностей взаимодействия природных и социально-экономических факторов в лесохозяйственном предприятии, научно обосновать меры по оптимизации лесовосстановления в условиях Приднестровья.

Практическая значимость результатов определяется возможностью реализации авторских разработок и предложений для повышения эффективности лесопользования и работы лесохозяйственных предприятий Приднестровья. Они также могут найти применение при подготовке кадров по ряду направлений: геоэкологии, лесоведению, лесному хозяйству и природопользованию.

Личный вклад автора состоит в сборе, обобщении и использовании опубликованных в открытой печати результатов предшественников и собственных полевых и камеральных исследований, обработке эмпирических данных и статистических материалов, полученных в результате девятилетнего изучения процессов восстановления и функционирования лесной экосистемы урочища Калагур в условиях антропогенного воздействия; проведен анализ биоресурсов и геоэнергетического потенциала лесной экосистемы, данных об обобщающих затратах энергоресурсов в процессе лесовосстановления. Все приведенные в работе расчеты выполнены с использованием авторской автоматизированной информационной системы. Кроме того автором разработана схема оптимизации функционирования восстанавливаемой экосистемы урочища

Калагур на принципах повышения энергоэффективности сбалансированного природопользования.

Апробация работы. Основные положения диссертации были представлены на шести международных научных конференциях: «Актуальные проблемы биоэкологии» (Москва, 2010), «Академику Л.С. Бергу – 135 лет» (Бендеры, 2011), «Управление бассейном трансграничного Днестра в условиях нового бассейнового договора» (Кишинев, 2013), «II Кавказский экологический форум» (Грозный, 2015), «Экология. Окружающая среда. Состояние и перспективы» (Бендеры, 2016), «VI Семеновские чтения» (Липецк, 2017).

Публикации. Основные результаты изложены в 16-ти статьях, в том числе шести в ведущих рецензируемых изданиях РФ и совместной с Б.И. Кочуровым монографии 2016 г.

Получены два авторских свидетельства на программы для ЭВМ:

- «Эколого-энергетический анализ технологий лесовосстановления» (заявка №15300357) зарегистрировано в Государственном реестре Министерства юстиции Приднестровской Молдавской Республики 20.01.2015 г.;

- «Энергетический подход в оценке биоресурсов экологической емкости экосистемы» (заявка №15300365) зарегистрировано в Государственном реестре Министерства юстиции Приднестровской Молдавской Республики 15.06.2018 г.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 3-х глав и заключения, списка литературы из 155-ти источников, в том числе 5 наименований на английском языке и 3-х приложений. Общий объем работы составляет 128 страниц, включая 16 таблиц, 38 рисунков.

Выражаю искреннюю благодарность научному руководителю проф. Б.И. Кочурову, коллегам по лаборатории защиты и восстановления фитоценозов и директору Республиканского НИИ экологии и природных ресурсов Приднестровской Молдавской Республики доценту В.С. Рущук, а также сотрудникам Института природопользования, территориального развития и градостроительства БФУ им. И. Канта, моим родным и близким за постоянную поддержку и помощь в осуществлении и завершении настоящей работы.

ГЛАВА 1 . ТЕОРИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Теоретико-методологические основы геоэнергетического подхода

С ростом энергозатрат на производство товаров и услуг, возникновением проблем исчерпания биогенных источников энергии, загрязнением окружающей природной среды, значительно обострился вопрос оценки энергетической эффективности (рациональности) использования биологических и экологически значимых природных ресурсов [149]. В основу разрабатываемого в настоящей работе подхода и методов оценки эффективности функционирования лесных экосистем положены фундаментальные законы термодинамики.

Первый из них основан на законе сохранения энергии и учитывает: количество теплоты, сообщаемое системе, которая расходуется на изменение её внутренней энергии и на совершение системой работы против внешних сил. Доля элементарного количества теплоты ΔQ, элементарной работы ΔA и бесконечно малого изменения dU:

$$\Delta Q = dU + \Delta A» \quad (1)$$

Второй закон термодинамики гласит: невозможен процесс, единственным результатом которого является передача энергии в форме теплоты от тела менее нагретого к телу более нагретому. Согласно третьему закону: невозможен такой процесс, в результате которого тело могло бы быть охлаждено до температуры абсолютного нуля [150].

В России одним из первых В.И. Вернадский поставил проблему энергетического выражения естественных производительных сил на основе количественного учета энергии, заметив при этом: «Нет еще общей единицы для количественного сравнения всех естественных производительных сил… не можем одной единицей, например, выразить добычу металлов и горючего. А между тем необходимо и возможно подойти к полному количественному учету

потенциальной энергии страны… Только при этом условии можно подойти к энергетической картине окружающей человека природы с точки зрения потребностей его жизни» [14].

Гипотезу о первостепенной роли энергии в развитии и выживании биологических систем первоначально высказал Альфред Лотка (цит. по Н.Ф. Реймерс) [131], который выдвинул принцип максимума использования энергии живыми организмами. Согласно этой гипотезе в соперничающих экологических системах выживают те её члены, которые наилучшим образом усваивают энергию и используют максимальное ее количество наиболее эффективным способом, в отличие от максимального поступления вещества как такового, которое не гарантирует успеха биологическому субъекту в конкурентной борьбе.

Фундаментальные основы анализа энергетических потоков в лесных экосистемах, агроэкосистемах и в др. были разработаны Говардом Одумом, который расширил понимание гипотезы А. Лотка и в 50-х годах XX в. начал развивать энергетическую теорию, ранее признанную В.И. Вернадским [14]. Однако в отличие от него для энергетической оценки глобальных природных и антропогенных процессов он использовал теорию стоимости, считая например, что энергия производства экосистемной продукции или «услуги» – это мера полезной энергии фотосинтеза, заложенной в древесине. Энергетический подход – лишь часть теории Г. Одума, объясняющей, каким образом системы наиболее эффективно используют и перерабатывают поступающую в них энергию [152,153].

Человечество осознало значение энергетических источников лишь в период социально-экономического кризиса в конце 1970-х гг., когда Г. Одум обосновал ведущую роль экосистемного подхода для глобального развития, показав, что успех принимаемых государством и бизнес сообществом экономических решений и действий зависит не только от сугубо социальных либо экономических законов, но и емкости природных экосистем. Его подход был основан на оценке энергетических потоков в системе, связи между которыми возникают не только в земных условиях, но и в космосе. По мнению этого исследователя [153], каждая

система имеет хотя бы один аккумулятор высококачественной энергии. Энергия, поступающая на вход системы, превращается в поток продукции либо изделий из неё образуется «петля обратной связи», в результате чего процесс выработки высококачественной энергии продолжается и развивается. Выявленные потоки в энергетических и даже денежных единицах, в дальнейшем оцениваются и сравниваются.

Все формы энергетических вкладов, по Г. Одуму [152], выражаются единицами солнечной энергии (E_S), затрачиваемой для получения лесной природной продукции и изготовления из неё различных товаров и услуг, допуская при этом, что солнечная радиация была единственным энергетическим вкладом в производство.

Таким образом, все природные системы на Земле участвуют в преобразовании более низкой по качеству энергии в более высокую, а солнечная энергия при этом выступает главным энергетическим источником. Следовательно, правомочно все другие виды энергии выражать через солнечную энергию.

В основании энергетического подхода лежит понятие о трансформации солнечной энергии в биологических и экологических системах. Г. Одум вычислил коэффициенты трансформации солнечной энергии для производства многих товаров и услуг в США, а на их основе определил эффективность использования энергетических потоков. Большинство коэффициентов были рассчитаны на основе оценки ежегодной энергии, поступающей на земную поверхность из различных источников. Суммарный энергетический вклад формируется у этого автора не только за счет притока солнечной радиации, но также энергии приливов и отливов и энергии недр Земли [153].

В эксплуатируемой человеком лесной экосистеме энергия выпадающих осадков в виде дождя и снега по Г. Одуму вычисляется по формуле:

$$E_{pr} = S \times Q \times G, \quad (2)$$

где: S - площадь исследуемого лесного хозяйства, $м^2$;

Q - количество выпадающих осадков, мм/год;

G – свободная химическая энергия Гиббса без учета транспирации растениями, Дж/г.

Продуктивность экосистем. Важнейшее свойство экосистем - их способность создавать и наращивать органическое вещество (биопродукцию). В отличие от агроэкосистем в лесной экосистеме значительная часть продукции образуется в результате использования всего объема фитомассы за периоды её прироста [105].

Естественные сообщества, получающие добавочную энергию из природных источников, обладают наибольшей валовой продуктивностью. Накопленная экосистемой биомасса характеризует её биопродуктивность, иными словами - эффективность преобразования солнечной энергии. Потоки потенциальной энергии, необходимые для производства и накопления реального биоресурса экосистем, практически неограничены пространственно и по времени. Энергия, производимая экосистемой «на выходе», автокаталитически восполняет её расход во входном потоке и внутри экосистемы без ограничений, что ведет к возрастанию суммарной энергии. Геоэнергетическая емкость экосистемы, в энергетических единицах представляется в виде:

$$E_п = E_S + E_{ре} + E_{рг}, \quad (3)$$

где: $E_п$ – геоэнергетическая емкость экосистемы, Дж;

E_S – солнечная энергия, Дж;

$E_{ре}$ – энергопотенциал экосистемы, Дж;

$E_{рг}$ - энергетический потенциал выпадающих осадков, Дж.

На данном этапе не учитываются процессы, объективно действующие в экосистеме и вводимые человеком. Саморегулирование экосистемы осуществляется через баланс энергии: если её поступление превышает расход, то система работает лучше; если наоборот, то она деградирует. Поэтому в эколого-экономических моделях Г. Одума не предусматривалось специального органа управления. Их функции определены лишь количественными характеристиками экосистемы – площадными, высотными, объемными, размерными [8].

В связи с тем, что сравнивать по эффективности возможно только с помощью безразмерных величин, то есть такие, в которых числитель и знаменатель дроби выражены в одних единицах, игнорируя это правило, легко прийти к ошибочным выводам. Поэтому было предложено [105] экологическую эффективность выражать в «энергетической валюте» (т.е. в джоулях). Джоуль, как неизменная константа не подвержен колебаниям цен на рынке и является универсальной единицей для оценок и сопоставления энергетической эффективности.

С целью поиска путей более рационального природопользования и вариантов оптимизации функционирования природно-антропогенных ландшафтов (преобразованных человеком лесных экосистем), автором был разработан геоэнергетический подход, базирующийся на научных разработках Томской геоэкологической школы профессора А.В. Позднякова [147,149]: энергетического подхода К.А. Шуркиной [149] к оценкам функционирования агроэкосистемы «СоМер 2» в степной зоне Центрального Казахстана и примененного Т.Ш. Фузеллой для изучения агроэкосистемы «Нелюбино» Томской области.

А.С. Миндрин [89,90] на основе межотраслевого материального баланса рассчитал энергетические эквиваленты энергоносителей (ископаемых топлив) и используемых в производстве исходных материалов, определил энергозатраты по трудовым ресурсам и дал энергетическую эффективность производства продукции с оценкой энергетических затрат по механизации. Однако и этот автор не учитывал вклад природной энергии в произведенную продукцию.

Своим успехом в адаптировании некоторых природных систем к собственным нуждам человек в основном обязан включением в биогеосистемы дополнительных цепей, в которых расходуется энергия таких богатых источников, как ископаемое горючее и расщепляющиеся материалы. При интенсивном и экстенсивном производстве большая часть энергии моежт происходить не от Солнца, а из ископаемого топлива. При появлении такой

дополнительной поддержки виды, входившие в естественную экосистему, оказываются не приспособленными к новой ситуации [105].

Принципиальное отличие авторского подхода от ранее предложенных энергетических и эколого-энергетических состоит в том, что он реализуется в конкретных условиях эксплуатируемых лесных экосистем Приднестровья, с характеристикой соотношения существующего и возможного геоэнергетических потенциалов экосистемы и изменений принципов лесохозяйственной деятельности. Кроме того автором оценивалась доля антропогенной энергии, затрачиваемой для оптимизации функционирования лесной экосистемы.

Главная цель геоэнергетического подхода - поиск более рациональных путей хозяйствования с устойчивым снижением доли антропогенной энергии в процессах оптимизации, восстановления леса и роста энергопотенциала экосистемы.

Геоэнергетический подход с использованием количественных методов оценок структуры и динамики лесного ландшафта дает возможность создавать схемы значительно более устойчивого природопользования на основе численных экспериментов природных процессов с различными характерными масштабами — от долговременных процессов формирования структуры ландшафтов и продукции древостоев до быстропротекающих процессов водного стока, миграции и биологического круговорота вещества, энергии и информации. Важная специфика — это максимальное использование априорных данных и методов математического моделирования структуры и функционирования природных и трансформированных ландшафтов.

Концепция устойчивого развития направлена на необходимость поиска баланса между потреблением и воспроизводством жизнеобеспечивающего потенциала планеты с целью обеспечения долгосрочного существования человечества [141].

Проблема «укрощения» роста потребления с целью выхода на траекторию сбалансированного природопользования и устойчивого развития более актуальна, чем для сокращающихся биоресурсов. Осмысление «пределов роста» ставит

перед наукой задачу глобального уровня — разработку новой рыночной методологии с учетом эффективности природопользования, рассчитываемой по соотношению энергетических доходов и затрат [1,43,44], и на ее основе создание новых технологий мира будущего человечества. Эти технологии должны будут обеспечивать не только достижение разумного уровня прибыльности бизнеса и благосостояния общества, но также его геоэнергетическую безопасность и устойчивость.

По А.В. Позднякову [113], современные успехи экономически развитых стран основываются на целенаправленно расширяющемся потребительстве, доведенном до массовой зависимости населения от него. Развитые страны используют при этом широкие возможности эксплуатации дешевого труда развивающихся стран. В условиях рыночной экономики мерой стоимости товаров и услуг принято считать деньги. Однако выполняя функции мерила стоимости товара, деньги сами стали товаром, стоимость которого определяется соотношением спроса и предложения. Развитые страны стали получать огромные доходы от эмиссии собственных бумажных валют (доллары, фунты, евро, йены) хотя должны были бы учитывать в расчетах энергетические ресурсы, продукцию первичной переработки, интеллектуальный и физический труд и др.

Основа энергоориентированного подхода к природопользованию - джоуль, позволяющий повсеместно измерять энергетические затраты производства любых материальных и не материальных услуг, товаров и обосновывать расчеты цены в едином энерго - экономическом стандарте, как на территории Российской Федерации, так и во всём мире [51,135]. Опираясь на эти представления А.В. Поздняков [113] предложил разработать научно обоснованный проект управления развитием страны на конкретный срок, в котором должны быть теоретически проработаны и подкреплены фактическими данными анализ социально-экономической ситуации с характеристикой общемирового политического и социально-экономического фона, системный анализ причин, обусловливающих складывающиеся политические и социально-экономические ситуации; анализ различных вариантов разрешения проблем с учетом того, что любое государство

есть взаимосвязанная часть глобальной самоорганизующейся, саморазвивающейся системы; перспективное видение путей разрешения глобальных проблем цивилизации и того, какую роль будет играть в них Россия.

Существующие методики энергетического анализа, опиравшиеся в основном на рассчитанные эквиваленты, заимствованные из зарубежных источников [149,154], неприемлемы для условий хозяйствования в России в виду явных различий в технологиях производства, несопоставимости природных и социально-экономических условий, технологий и общественных отношений. В них учитываются не все виды затрат при производстве продукции, что затрудняет определение эффективности использования природной и промышленной энергии; не учитывается негативное влияние хозяйственной деятельности на природные и природно-антропогенные системы.

Различные виды энергии (солнечная, природного топлива, мускульной работы животных или людей), не эквивалентны по своим значениям и содержанию (теплота сгорания, калорийность), не соответствуют энергетическим расходам на производство лесной продукции либо того или иного товара из неё. Калорийность природных благ (растительной, животноводческой или иной биопродукции) не эквивалентна их энергетической ценности.

1.2. Геоэкологические аспекты исследования

Одна из основных задач геоэкологических исследований — поиск междисциплинарных путей оптимизации природопользования. Инновационные исследовательские подходы должны быть ориентированы на определении синергетических, экономико-социальных и экологических эффектов. К инновациям следует отнести, в частности, выращивание лесов из интродуцентов, восстановление водности рек, озер и других объектов, но прежде всего, научно обоснованные методы и способы оптимизации природопользования [91].

Используя методологию геоэкологической оценки антропогенной нагрузки на экосистему, автором по Б.И. Кочурову [46] определялась степень антропогенной нагрузки (АН) на земли лесного фонда Приднестровья с использованием экспертных балльных оценок. Каждый вид земель получал при этом соответствующий балл, после чего они объединялись в однородные группы; от минимальной на землях ландшафтных урочищ и фаций до максимальной - на землях промышленности, транспорта и др. (табл. 1).

Таблица 1 - Классификация земель Приднестровья по степени антропогенной нагрузки (АН)

Степень АН	Балл	Виды и категории земель
Высшая	6	Земли промышленности, транспорта городов, поселков, инфраструктуры; нарушенные земли
Очень	5	Орошаемые и осушаемые земли
Высокая	4	Пахотные земли; ареалы интенсивных рубок; пастбища и сенокосы, используемые
Средняя	3	Многолетние насаждения, рекреационные земли
Низкая	2	Сенокосы; леса, используемые ограниченно
Очень низкая	1	Природоохранные и неиспользуемые земли

Такая группировка земель позволила оценить антропогенную преобразованность изученной территории в сопоставимых показателях. К ним отнесены коэффициенты абсолютной (Ка) и относительной (Ко) напряженности ЭХС (эколого-хозяйственного состояния) территории, т.е. отношения площади земель с высокой АН к площади с более низкой АН:

$$Ка = АН_6 / АН_1 ; \quad Ко= АН_4+АН_5+АН_6/ АН_1+АН_2+АН_3 \qquad (4)$$

Коэффициент Ка - отношение площади сильно нарушенных горными разработками, промышленностью, транспортом земель к площади малотронутых или нетронутых территорий. Это соотношение крайних по своему значению величин должно привлекать особое внимание с целью уравновешивания сильных антропогенных воздействий с потенциалом восстановления ландшафта и поддержания на соответствующем уровне необходимой площади заповедников, заказников и других природоохранных территорий. Чем больше их, тем ниже коэффициент Ка и благополучнее состояние природного ландшафта [46,55].

В целом, эколого-хозяйственное состояние в наибольшей степени характеризуется коэффициентом Ко, так как при этом охватывается вся исследуемая территория. Снижение напряженности ситуации уменьшает значение коэффициентов, а при Ко равном или близком к 1,0 напряженность ЭХС территории оказывается сбалансированной по степени антропогенной нагрузки и потенциалу устойчивости природных экосистем и ландшафтов.

Чем разнообразнее ландшафт, тем он более устойчив. Выражается это, прежде всего большим количеством и равномерным распределением естественных биогеоценозов, урочищ, природоохранных зон и особо охраняемых территорий, совокупная площадь которых составляет экологический фонд (Рэф) территории. Чем выше экологический фонд, тем выше естественная защищенность (ЕЗ) территории и устойчивость её ландшафтов.

Вместе с тем, уровень ЕЗ (естественная защищенность) также зависит от распределения земель по степени АН. Земли, характеризующиеся высокой степенью антропогенной нагрузки, как правило, имеют низкую естественную защищенность. Если принять земли, входящие в экологический фонд с минимальной АН за P_1, то площади земель с условной оценкой степени АН в 2,3,4 балла будут составлять 0,8 P_2, 0,6 P_3, 0,4 P_4, (земли с самым высоким баллом АН в расчет не принимаются). Таким образом, появляется возможность получить суммарную площадь земель со средо- и ресурсостабилизирующими функциями (Рсф) по следующей формуле:

$$Рсф = P_1 + 0{,}8\ P_2 + 0{,}6\ P_3 + 0{,}4\ P_4 \quad (5)$$

Если соотнести площадь земель Рсф к общей исследуемой площади территории (Ро) Рсф/Ро, то получим коэффициент естественной защищенности территории (Кез) [46].

По Б.И. Кочурову [46] рассчитывали и суммарную АН на земли лесного фонда:

$$An = \sum_{i=1}^{n} Si \times Bi\ , \quad (6)$$

где: S – площадь вида (i – го) использования земель, в %;

B - балльная оценка АН по i-му виду с учетом корректировки по дополнительным факторам;

n - число групп.

Таким образом, определилась степень экологической напряженности исследуемой территории.

Ранее уже обосновывалось, что денежные оценки природных ресурсов не вполне адекватно отражают их реальную стоимость, поскольку в них не учитывается энергетический вклад накоплений возобновляемых источников. В условиях нарастающего дефицита энергетических ресурсов необходимо учитывать экологическую составляющую в экономических оценках, приводя разнородные показатели к единому эквиваленту, сопоставления ценности природных и экономических товаров и услуг созданных человеком [36,47,72,111].

Геоэнергетический подход позволяет не только соотносить вклады между собой природного (естественного) воспроизводства продукции с вкладами человека в производство какого-либо товара или услуг, но и определять энергетические потоки в различных системах (гео-, агро-, эко-, урбосистемах и др.), сравнивая их по эффективности использования ресурсов. С его помощью можно эффективно оценивать качество различных вариантов новых и старых производственных технологий, устойчивость функционирования любых

природных и природно-хозяйственных систем [36,52,53,73]. При геоэнергетической оценки природной и социально-экономической составляющих экосистемной продукции учитываются потоки вещества, энергии и информации, поступающей из внешнего окружения.

В условиях длительности процессов лесовосстановления и множества неопределенностей социально-экономического характера для целей прогнозирования необходимым методом представляется имитационное моделирование пространственной динамики многопородного древостоя на основе контрастных сценариев (вариантов) лесопользования в соответствии с действующими нормативами ведения хозяйственной деятельности [141]. Численные эксперименты по разным сценариям лесопользования в условиях Приднестровья выявили отчетливые различия в распределении и продукционной эффективности функционирования древостоев, обусловленные структурой предшествующего материнского ландшафта. По степени прогнозируемой изменчивости их структуры выделено 3 категории лесов:

1) без выявленных изменений породного состава;

2) с незначительным изменением породного состава;

3) с существенным изменением породного состава.

Полученные результаты подтвердили взаимосвязь структуры ландшафтов и устойчивости биопродукционного процесса к лесохозяйственному воздействию [141].

По эффективности процессов лесопользования выделили два вида: эффективность собственно природопользования Еп и эффективность использования средств финансирования Еф. В расчетах Еп в качестве затратных статей рассматривались природные ресурсы (в конкретном случае лесные), а в качестве результатов — произведенная лесная продукция. Еп характеризует приумножение лесных ресурсов. Еф — соотношение доходов и расходов сосредоточение прибыли у абсолютного меньшинства участников лесохозяйственного производства.

Высокая эффективность природопользования достигается расходованием значительной части прибыли на решение задач воспроизводства природно-ресурсного потенциала и человеческого капитала. Применительно к лесу потенциал экосистемы используется наилучшим образом при равенстве:

$$Еп = Еф \text{ [48]} \quad (7)$$

которое означает обеспечение длительной устойчивости лесопользования с учетом требований охраны и воспроизводства с одновременным решением вопросов экономического роста и занятости населения. Такое лесопользование в качестве приоритетов развития предполагает не столько увеличение объемов заготовок древесины, а, главным образом, развитие человеческого потенциала, участвующего в обработке древесины, производстве тепловой и электрической энергии на основе древесных отходов, в неистощительном использовании недревесных ресурсов леса (грибы, ягоды, лекарственные растения), рекреационной деятельности (охотничье-рыболовный, экологический туризм и др. виды). Все это предполагает разработку и использование в стратегиях, программах и планах регионального развития отраслевых индикаторов устойчивости лесохозяйственного комплекса [32].

1.3. Методика работы

Разработанная автором методика реализации геоэнергетического подхода оценки эффективности функционирования лесных экосистем Приднестровья включает в себя ряд последовательных процедур [50,54,56]:

а) общая характеристика природных условий;

б) оценка геоэкологического состояния лесных экосистем;

в) эколого-географический и сравнительно географический анализы изучаемой территории;

г) картографическая визуализация;

д) пространственная типологизация.

е) геоэнергетическая оценка солнечной энергии и энергии атмосферных осадков;

энергопотенциал лесной экосистемы по авторской формуле:

$$E_{pe} = Z \times K_p, \quad (8)$$

где: E_{pe} - энергопотенциал лесной экосистемы, Дж;

Z- запас древесины в лесной экосистеме, $м^3$/га;

K_p – коэффициент перевода запаса древесины в джоули (в зависимости от древесной породы), Дж/$м^3$.

Геоэнергетическая оценка вариантов оптимизации функционирования лесной экосистемы велась по трем составляющим (энергозатраты на средства механизации, на виды топлива, трудозатраты и энергоемкость) в соответствии с предложениями А.С. Миндрина [89]:

$$E_1=\sum M \times l_m \times t, \quad (9)$$

где: M - металлоемкость, кг/га;

l_m - энергетический эквивалент средств механизации, МДж/га;

t – время работы агрегата.

Металлоемкость тракторов, техники:

$$M=1/w \times \sum G_l \times (a+r)/T_H, \quad (10)$$

где: w- производительность агрегата га/ч, оборудование т/ч;

G_l - масса l-й машины, входящей в агрегат, кг;

T_H - годовая нормативная нагрузка, ч;

a, r - нормы отчислений на амортизацию и ремонт.

Энергозатраты на виды топлива:

$$E_2= \sum Q_{tj} \times e_{ti}, \quad (11)$$

где: E_2 - энергозатраты на виды топлива, Дж;

Q_{tj} – количество потраченного топлива, кг;

e_{ti} - энергетический эквивалент вида топлива, МДж/кг.

Энергозатраты на трудовые ресурсы:

$$E_З = \sum T_j \times e_i, \quad (12)$$

где: $E_З$ – энергозатраты на трудовые ресурсы, Дж;

T_j – трудозатраты, чел/ч;

e_{ti} - энергозатраты человека в процессе трудовой деятельности, МДж/кг.

Энергоемкость по вариантам оптимизации лесных экосистем:

$$Э = E_к / E_п, \quad (13)$$

где: Э - энергоёмкость;

$E_к$ = затраты энергии, Дж;

$E_п$ - содержание энергии в конечном продукте, Дж.

В процессе геоэнергетической оценки также определялись:

1) соотношение возможного потенциала лесной экосистемы к существующему с учетом изменения принципов хозяйствования:

$$e_R = E_B / E_C, \quad (14)$$

где: e_R – эффективность использования природной энергетической ренты;

E_B – возможный энергопотенциал лесной экосистемы, Дж;

E_C – существующий энергопотенциал лесной экосистемы, Дж.

2) доля антропогенной энергии расходуемой для оптимизации функционирования лесной экосистемы (D_A):

$$D_A = A_B / A_C, \quad (15)$$

где: A_B – возможные затраты антропогенной энергии при изменении варианта оптимизации функционирования лесной экосистемы, Дж;

A_C – реальные (существующие) затраты антропогенной энергии, Дж.

Выводы по первой главе. Фундаментальное значение представления об энергетике лесовосстановления заключается в возможности совместного учета поступлений энергии из различных источников (природных, антропогенных,

техногенных). Затраты энергии и эффективность лесовосстановления позволяют рассчитывать баланс этого процесса в одних и тех же единицах – джоулях. Кроме того естественная прибыль в виде ежегодного прироста биомассы может быть оценена в виде энергетического аналога природной ренты.

Авторским подходом предусмотрено определение степени антропогенной нагрузки на земли лесного и сельскохозяйственного фонда в абсолютных и относительных показателях её напряженности и категориям защищенности лесов с соответствующим расчетом энергопотенциала собственно лесопользования и его доходности.

Основа методики исследования – геоэнергетическая оценка эффективности лесовосстановления по нескольким вариантам с пространственной визуализацией и типологизацией полученных результатов. Особое значение имела оценка энергозатрат на средства механизации, виды топлива и затрат трудовых ресурсов. В процессе геоэнергетической диагностики лесовосстановления также определялась соотношение существующего потенциала экосистемы к возможному более эффективному экономически и экологически безопасному. Для этого предлагается использовать понятие природной экологической ренты образуемой в результате дополнительного дохода от более экологичного способа лесовосстановления без применения тяжелой техники и других средств механизации, негативно влияющих на состояние экосистемы при систематическом применении.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИДНЕСТРОВЬЯ

2.1. Географическое положение и ландшафтная дифференциация дубрав

По своему физико-географическому положению исследуемый регион тяготеет к Причерноморью, концентрирующему водный сток Дуная, Прута и Днестра во впадине Черного моря. На северо-востоке Приднестровье граничит с Украиной, на юго-западе — с Молдовой. Общая площадь его - 4200 км² [40]. Пространственно Приднестровье находится на юго-западе Восточно-Европейской равнины, во втором часовом поясе, занимая узкую полосу левобережья р. Днестр в её среднем и нижнем течении.

Ландшафты Приднестровья достаточно подробно изучались в 60-80-е годы XX в.. Наиболее системно природно-территориальная дифференциация региона представлены в ряде работ геоботаников. Н. Л. Рымбу [133,134] относит всю лесостепную область к одному ландшафту, И. К. Гораш [24] выделяет здесь два ландшафта, а В.Е. Прока [123] подразделяет эту территорию на четыре ландшафта (табл. 2).

Границу лесостепных и степных ландшафтов все исследователи проводят по балке у села Ташлык. В южной степной области И. К. Гораш [24] дополнительно выделяет в качестве Турунчукского ландшафта широкую пойму Днестра, расположенную ниже устья Комаровой балки. В двух других классификациях эта пойма рассматривается в виде морфологического элемента ландшафта ранга местности [124,125,133].

На территории Приднестровья выделяют две природные области (зоны): лесостепную - на севере и степную - на юге. Граница между этими областями (зонами) проходит по р. Ягорлык. В лесостепной зоне преобладают (кодринские) ландшафты характерные для севера Молдавии с буково-дубовыми и грабово-

дубовыми лесами, с преобладанием дуба черешчатого, на возвышенных местах с примесью дуба скального.

На юге в степной зоне доминируют гырнецово-степные и степные (буджакские) ландшафты характерные для центральной и южной части Молдавии с гырнецовыми лесами из дуба пушистого и степью с разнотравной типчаково-ковыльной растительностью. Из-за антропогенного воздействия практически все леса (дубравы) из дуба пушистого распаханы на отдельных труднодоступных местах и неудобьях сохранились поросли с преобладание дуба черешчатого и дуба скального, а в пойме встречаются ивово-тополевые леса с примесью дуба черешчатого.

Таблица 2 - Соотношение природных ландшафтов Приднестровья в различных системах классификации [40]

<table>
<tr><td rowspan="2">Область</td><td colspan="3">Ландшафты</td></tr>
<tr><td>по И. К. Гораш [25]</td><td>по В. Е. Прока [123,125]</td><td>по Н. Л. Рымбу [133]</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Лесостепная</td><td rowspan="3">Каменский ландшафт</td><td>Воронковская террасовая равнина</td><td rowspan="4">Каменская лесостепная равнина</td></tr>
<tr><td>Рашковская террасовая равнина</td></tr>
<tr><td>Рыбницкая террасовая равнина</td></tr>
<tr><td>Мокрянский ландшафт</td><td>Мокрянская террасовая равнина</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Степная область</td><td>Дубоссарский ландшафт</td><td>Григориопольская слаборасчлененная террасовая равнина</td><td>Дубоссарская степная равнина</td></tr>
<tr><td>Тираспольский ландшафт</td><td rowspan="2">Тираспольская плоская террасовая равнина</td><td rowspan="2">Кучурганская степная равнина</td></tr>
<tr><td>Турунчукский ландшафт</td></tr>
</table>

Пространство, расположенное севернее р. Ягорлык Н.Л. Рымбу [133] относит к Каменской лесостепной равнине. В отличие от него, И. К. Гораш [24] выделяет её как Мокрянский природный ландшафт. Часть Приднестровья, расположенную севернее реки Рыбница, он выделяет в Каменский природный ландшафт. В свою очередь, В. Е. Прока [123] лесостепную область Приднестровья подразделяет на ряд террасовых равнин: Мокрянскую, территориально совпадающую с одноименным природным ландшафтом по классификации И. К. Гораша, Рыбницкую - между реками Рыбница и Белочь, Рашковскую, простирающуюся от Белочь на юге до Каменка на севере, и, наконец, Воронковскую севернее р. Каменка.

На основе атласного картографирования [7] в северной лесостепной зоне Приднестровья выделены ландшафты возвышенностей, плато и лугово-степных равнин, возвышенностей с грабово-дубовыми лесами с преобладанием дуба черешчатого с примесью дуба скального, в отдельных труднодоступных местах сохранился дуб пушистый, растительность характеризуется наличием не проходимых ксерофитных кустарников, в целом ландшафты подвержены сильному антропогенному воздействию и основная масса лесных земель распахана.

Южнее распространены ландшафты терассовых лесостепных и степных равнин с порослевыми лесами из дуба черешчатого и дуба скального, с преобладанием степной растительности на юге, в пойме реки Днестр ивово-тополевых лесов с небольшим процентом дуба черешчатого. В.Г. Синев и М.П. Бурла отмечали высокую антропогенную нагрузку на ландшафты юга Приднестровья, большая часть лесных земель в степных районах распахана (рис. 1).

Ландшафт - узловая единица в иерархии природных экосистем в равной мере в ней выражены черты природной зональности и местные особенности геолого-геоморфологического строения [39]. Рельеф Приднестровья представляет собой холмистую равнину, рассеченную долинами рек. Средняя её высота над уровнем моря - 140 м. По Н. Л. Рымбу [133], левобережье Приднестровья

относится к юго-западным отрогам Подольской возвышенности (северная часть) и примыкающей с юга Причерноморской низменности.

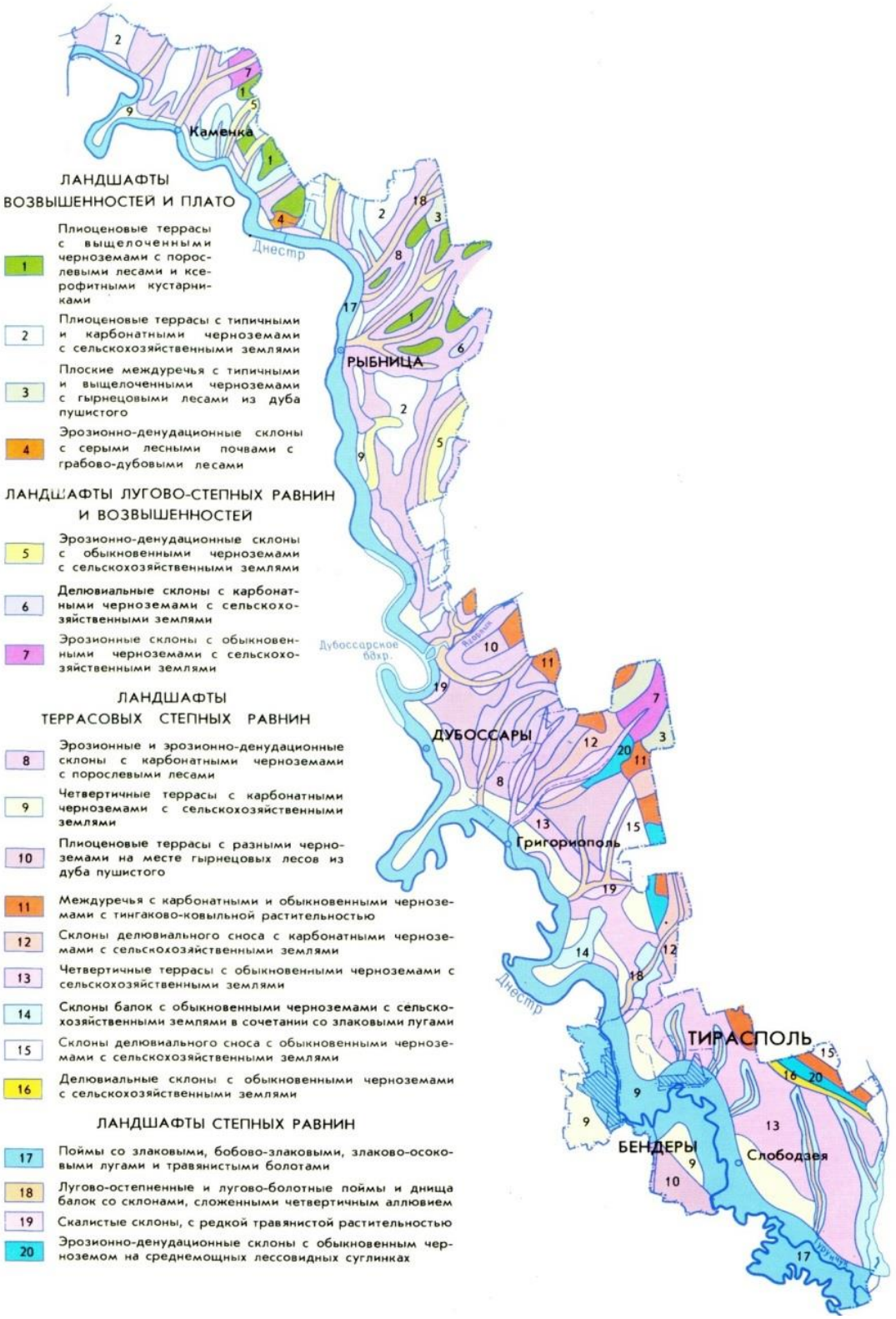

Рисунок 1 - Ландшафтная дифференциация Приднестровья, по В.Г. Синеву, М.П. Бурла [7]

На Подольской возвышенности (до 200 м) рельеф сильно расчленен глубокими, часто каньенообразными долинами левых притоков Днестра. Коренные берега этой важнейшей Приднестровской водной артерии и устьевые части малых рек – крутые, обрывистые с выходами на поверхность скальных известняков. К югу местность плавно понижается, что особенно наглядно прослеживается по высоте коренного берега Днестра. В районе Дубоссар (у с. Кочиеры) берег обрывистый высотой 150 – 170 м, южнее – у с. Парканы обрыв плавно переходит в широкую Нижне - Днестровскую равнину [133].

Почвенный покров Приднестровья представлен: на севере типичными и выщелоченными черноземами, отличающимися выраженной структурой, мощностью и плодородностью. Под лесом - оподзоленными черноземами, серыми лесными и темно-серыми почвами, менее плодородными, но характерными для лесных экосистем. В южной части: карбонатные, перегнойно-карбонатные малогумусные и слабогумусированные черноземы, мощные, плодородные почвы.

Климат умеренно-континентальный [41]. Зима мягкая, короткая, лето жаркое, продолжительное. Атмосферная циркуляция характеризуется преобладанием западных тёплых, а иногда и влажных атлантических воздушных масс. Периодически в Приднестровье проникают и другие воздушные массы: тёплый и влажный средиземноморский воздух с обильными дождями, с востока и юго-востока Восточно-Европейской равнины - сухой умеренно-континентальный, вызывающий засухи, а с севера - потоки холодного арктического воздуха, с которым связаны резкие аномальные изменения погодных условий.

Среднегодовое количество осадков снижается по направлению с севера на юг, а испаряемость наоборот повышается, что отрицательно сказывается на функционировании лесных экосистем (рис.2). Суммарная солнечная радиация практически не изменяется с севера на юг Приднестровья (рис.3).

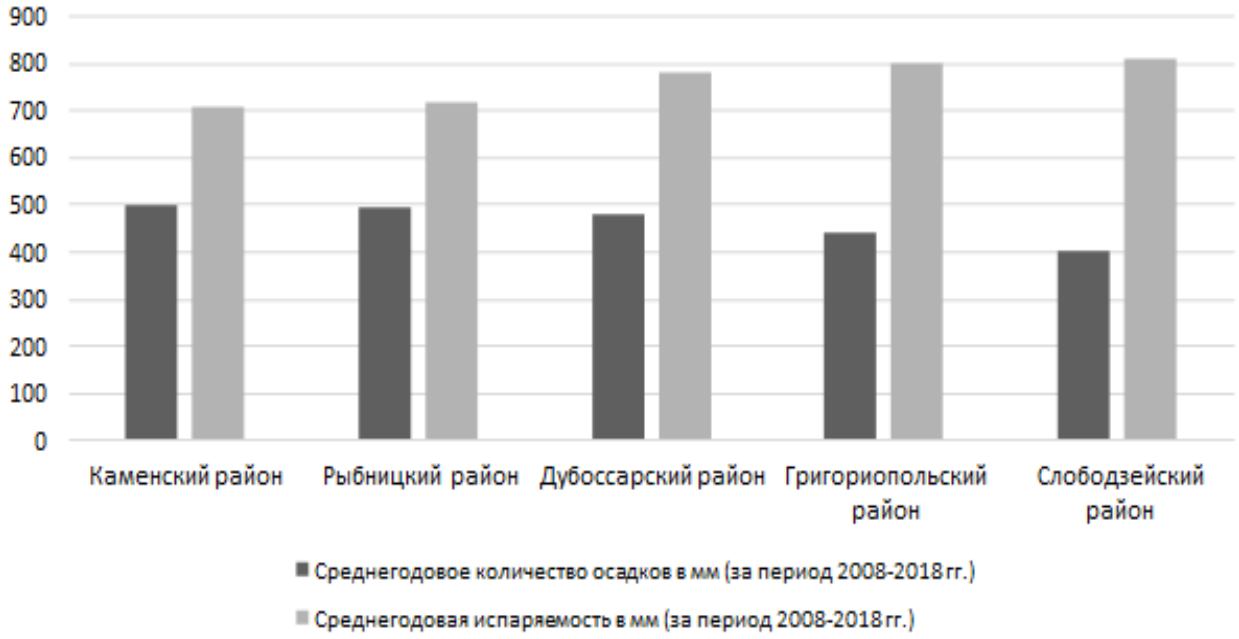

Рисунок 2 – Распределение среднегодового количества осадков и испаряемости в мм, за период 2008-2018 гг.

Однако в условиях Приднестровья необходимо также учитывать роль природных энергетических субсидий, факторы, определяющие природную энергетическую ренту [149], обеспеченную оптимальной пропорции. И только в этом случае эффективность использования всех слагающих ренты будет эффективна для повышения биопродуктивности лесных экосистем.

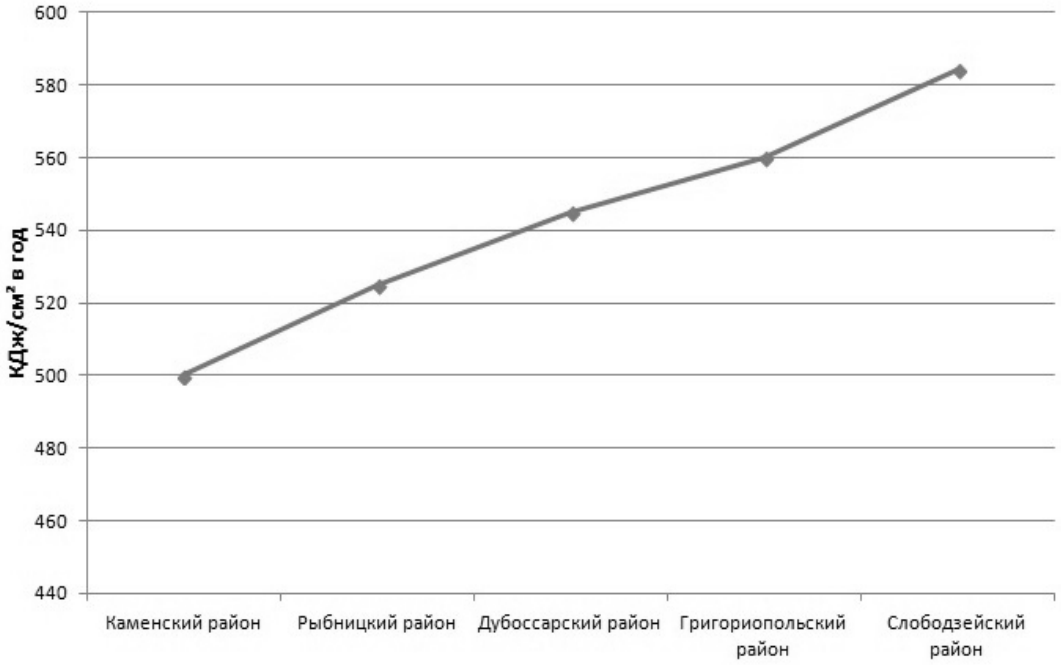

Рисунок 3 – Суммарная солнечная радиация в КДж/см^2 в год (2008-2018 гг.)

По материалам предшественников [7,41] на территории Приднестровья выделены три биоклиматических группы районов, соответствующие лесорастительным округам (рис. 4). Их пространственные различия важно учитывать при моделировании биологической эффективности климатических факторов лесовосстановления.

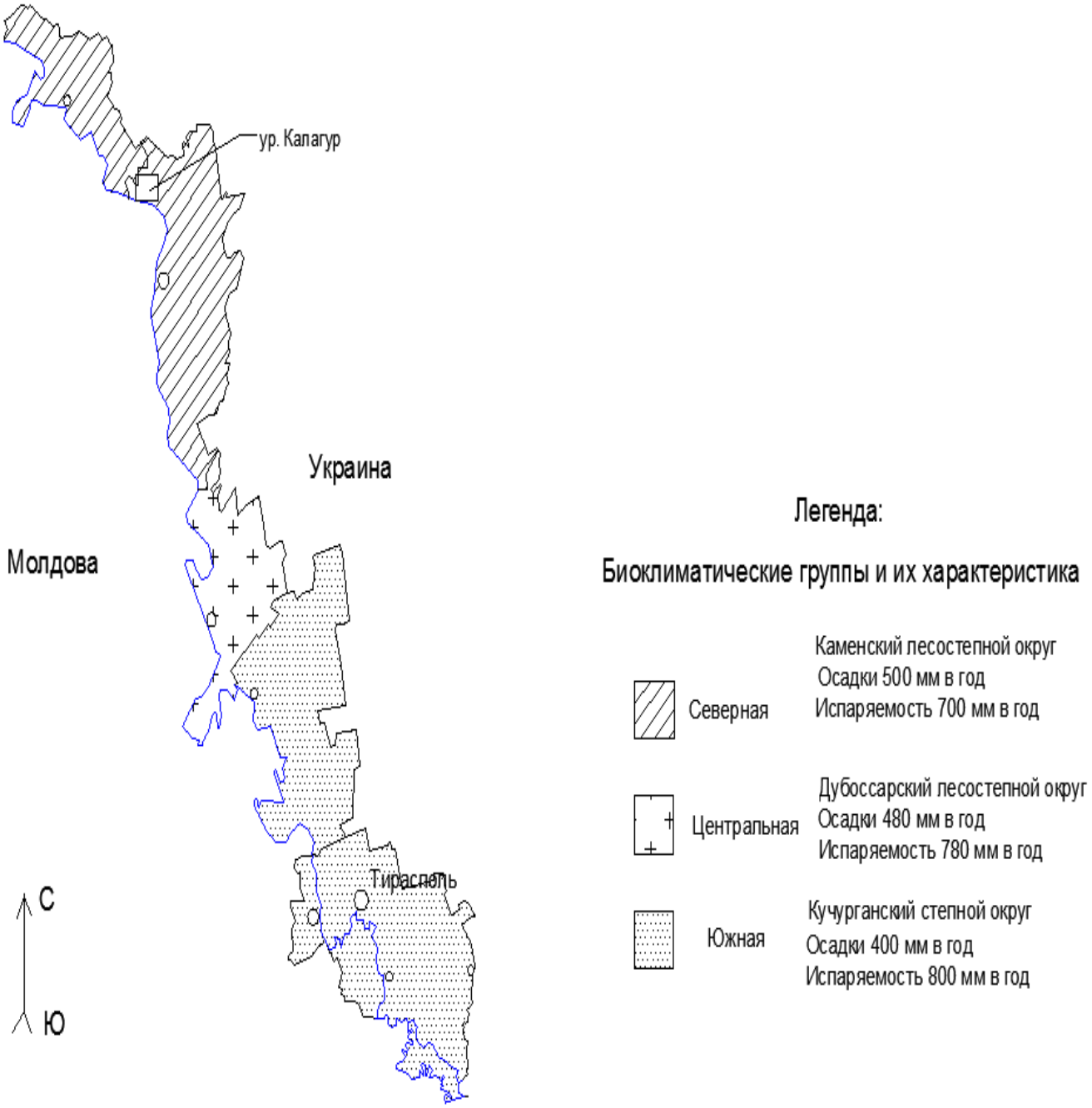

Рисунок 4 – Биоклиматическая группировка районов Приднестровья, составил автор по материалам [7,41]

Количество вырабатываемой на душу населения энергии постоянно растет в экономически развитых и развивающихся странах. За последние сто лет мировое

потребление энергии увеличилось в 14 раз (рис. 5). Урбогеосистемы превратились в постоянно увеличивающиеся сгустки потребления энергии. На начало XXI в. в развитых странах на одного человека в сутки приходится $1{,}5\times10^9$ Дж энергии, а суммарное энергопотребление на земном шаре превысило 380 млрд. т (более 10^{22} Дж).

С позиций геоэнергетического подхода наиболее острой проблемой является быстрое увеличение энергоемкости. Рост энергоемкости антропогенных процессов по истине взрывоподобен [43]. Вклад последствий производства и потребления энергии в разрушение природных экосистем едва ли не основной.

Все это, безусловно, увеличивает дефицит природных ресурсов, степень загрязнения, и деградацию природных экосистем, которые достигли критических величин, в том числе и в Приднестровье.

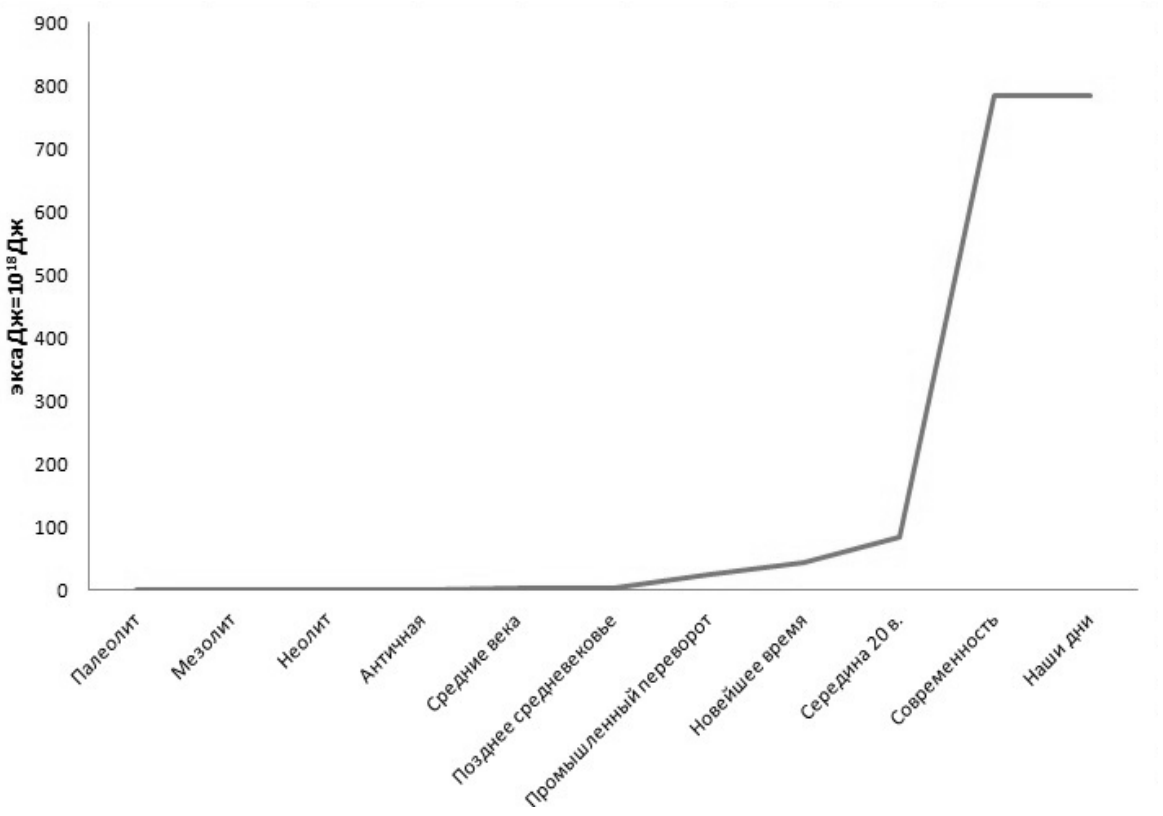

Рисунок 5 - Исторический рост энергопотребления на земном шаре
Е-уровень энергопотребления (экса Дж=10^{18}Дж) [149]

В глобально изменяемых внешних условиях настоятельно необходимыми становятся разработка новых методологических подходов, создание новых

технологий природопользования для более устойчивого развития человечества. Эти технологии должны быть направлены и обеспечивать не только сохранение разумного уровня прибыльности предпринимательства и благосостояния общества, но, главным образом, на более высокую эколого-экономическую эффективность природопользования, особенно в сфере его энергетики [44,45].

2.2. Земельные ресурсы и эколого-хозяйственный баланс

Важнейший природный ресурс – земля, которая является также носителем природно-ресурсного и человеческого потенциала, поверхностного и подземного стока, почвенного покрова, растительности, биоразнообразия и др.. Земная поверхность представляет собой базис, на котором развивается производство, проживает население, протекают естественные природные процессы, формирующие, в том числе и первостепенные средообразующие блага. При оценке современного состояния земель множатся трансформированные природные ландшафты и иные негативные процессы, сложившаяся практика землепользования приводит не только к экономическим потерям, но и к утрате исторически сложившихся геоэкологических благ [114].

Анализ состояния земельных ресурсов Приднестровья позволил выявить целый ряд негативных процессов и явлений. Это - водная и ветровая эрозия почв, опустынивание и подтопление земель, загрязнение их остаточными количествами пестицидов, тяжелых металлов, уменьшение запасов гумуса в почвах [127].

Факторы деградации почв подразделены на две группы сельскохозяйственные и промышленные. К первой относятся уменьшение площади лесов, вторичное засоление почв, их опустынивание, нерациональное ведение сельскохозяйственных работ, использование пестицидов. Во второй группе - разработка полезных ископаемых, загрязнение токсинами, воздействие водохранилищ, подтопление почв и т.д. [38].

Обозначенные выше проблемы весьма актуальны для оценки эффективности использования земельных ресурсов в Приднестровье, территория

которого испытывает высокие антропогенные нагрузки. В условиях интенсивного земледелия, естественных ландшафтов в республике практически не осталось.

Вырубки лесов, распашка степей обусловили развитие водной и ветровой эрозии, оползней, заиление рек и водоемов, в целом иссушение местности на территории Приднестровья. Уменьшилось видовое разнообразие – основа биологического равновесия в ландшафтах. Участились массовые вспышки вредителей, наносящие сельскому и лесному хозяйству огромный ущерб. Применение средств химии для уменьшения вредоносности последних не решает проблемы, но остатки химикатов в продуктах питания отрицательно сказываются на здоровье человека.

Распределение земельных ресурсов Приднестровья по состоянию на 01.01.2017 г. в тыс. га представляется следующим [140]:

Всего земель	367,1
в том числе:	
земли сельскохозяйственного назначения	264,2
(в том числе, земли государственного резервного фонда) земли населенных пунктов (городов, поселков и сельских населенных пунктов)	57,5
земли промышленности, транспорта, связи и иного специального назначения	7,6
земли особо охраняемых территорий и объектов	1,2
земли лесного фонда	27,6
земли водного фонда	9,0
земли государственного запаса	0,1

Их процентное соотношение на диаграмме (рис.6) наглядно демонстрирует абсолютное доминирование в регионе земель сельскохозяйственного назначения – 71,97 % и земель лесного фонда 7,6 %.

Наиболее плодородные земли сельскохозяйственного назначения по состоянию на 01.01.2018г. составляют 282,6 тыс. га. В большинстве своем они распаханы (доля пашни 237,8 тыс. га) [74,140]. В тоже время под многолетние насаждения отведено лишь 21,1 тыс. га из них пастбища и сенокосы занимают 23,7 тыс. га, сады 12,6 тыс. га виноградники 7,1 тыс. га.

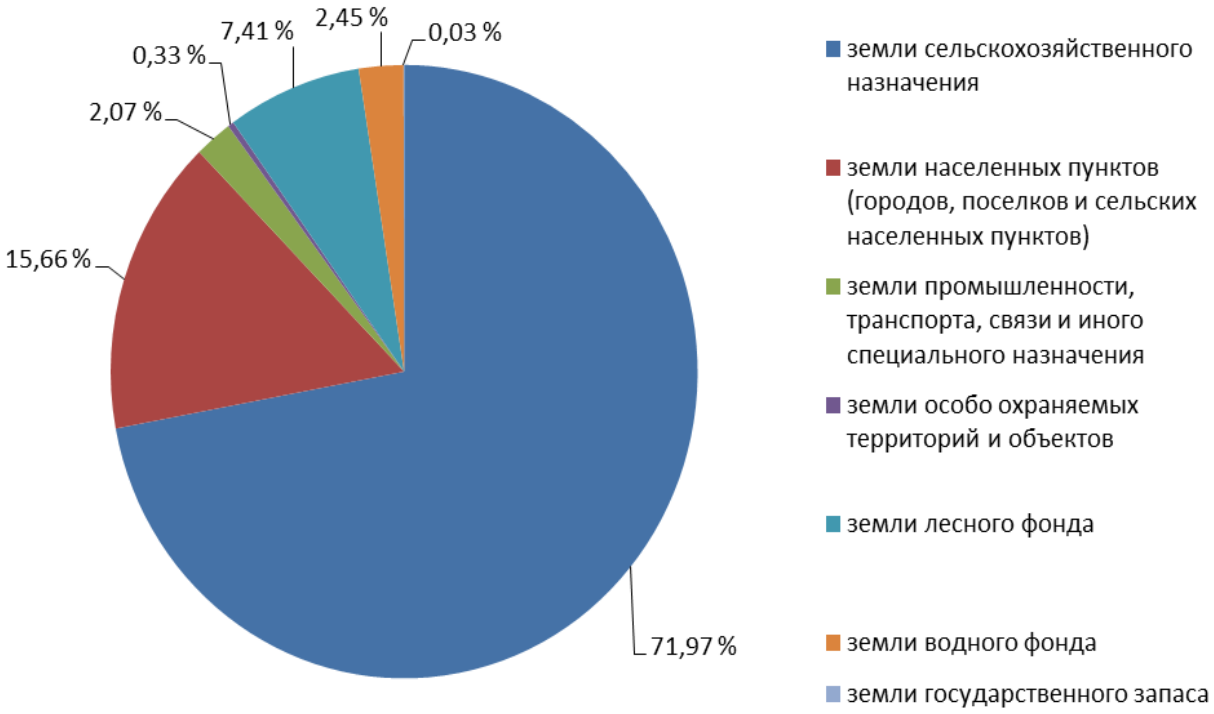

Рисунок 6 – Соотношение земель различного функционального назначения в Приднестровье, %

Разительны различия в структуре земельного фонда РФ в целом и Приднестровской Молдавской Республики. Если в России под лесопокрытые земли отведено 64,6 % земли сельскохозяйственного назначения - 23,5 % пашня - 55,3 %, то в Приднестровье лесопокрытая площадь сокращена до 7,6%, а площадь пашни увеличена до 84,15%, к общей площади земель сельскохозяйственного назначения (рис. 7).

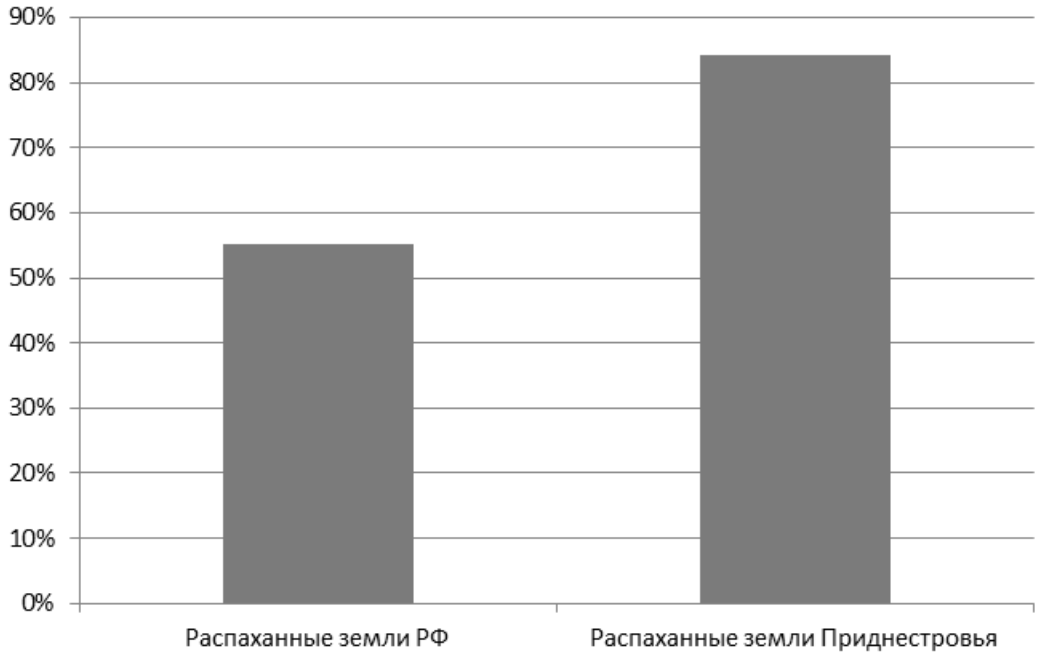

Рисунок 7 - Соотношение земельных ресурсов сельскохозяйственного назначения в России и Приднестровье, %

По методике Б.И. Кочурова [46] рассчитали суммарную антропогенную нагрузку на земли Приднестровья, которая составил 983,04 балла.

Степень антропогенной нагрузки рассчитывалась с учетом коэффициентов абсолютной (Ка) и относительной (Ко) напряженности ЭХС территории и составила соответственно 54,25 и 5,14 баллов, что является неудовлетворительным показателем.

Коэффициент естественной защищенности земель Кез = 0,74. В сравнении с Московской областью этот показатель изменяется от 0,42 до 0,75, в Приднестровье Кез говорит о низкой защищенности - менее 0,5 свидетельствует о критическом уровне защищенности территории.

Дисбаланс в соотношениях распределении разных категорий земельных ресурсов создает кризисную ситуацию в Приднестровье, изменить которую возможно лишь радикальным перераспределения земельных ресурсов в сторону увеличения показателя лесистости до 15-16%, а также путем введения в состав восстановленных дубрав дуба черешчатого, что многократно увеличит продукционный потенциал [55].

2.3. Лесной фонд, растительные, лесорастительные условия и трансформация лесных экосистем

По данным Министерства сельского хозяйства и природных ресурсов площадь лесного фонда Приднестровья - 27594 га, что соответствует 7,6% его территории, или 0,049 га леса на душу населения. Лесные земли подразделяются на три округа: 1 – Каменский лесостепной с южной границей по реке Ягорлык; 2 – Дубоссарский - гырнецовая лесостепь с южной границей по р. Коморуль; 3 – Кучурганский - типчаково-ковыльная степь [5,17,18].

В самом северном Каменском лесостепном округе лесная растительность сохранилась на крутых склонах Днестра и его притоков, отдельные урочища распространены на высоких террасах (Калагур, Бугорня, Бодари и др.)

Главная лесообразующая порода - дуб черешчатый (Quercus robur L.) с широким ареалом распространения (рис. 8), иногда (на более возвышенных местах) с примесью дуба скального (Quercus petraea L.). Из сопутствующих пород здесь представлены липы: мелколистная (Tilia cordata Mill.) и войлочная (Tilia tomentosa Moench) черешня лесная (Cerasis avium Moench), клены: остролистный (Acer platanoides L.) и полевой (Acer campestre L.), реже граб (Carpinus betulus L.), берека (Sorbus torminalus L.). Преобладают сухие, реже – свежие богатые условия местопроизрастания [5].

Естественные леса в расположенной южнее Дубоссарской гырнецовой лесостепи сохранились здесь в виде небольших урочищ в глубоких вершинах балок, реже с выходом на прибалочные участки плато (урочище Черница) или в виде единичных деревьев или групп деревьев. Наиболее сохранилась в таком виде лесная растительность в верховьях малых рек на склонах Подольской возвышенности – у сёл Карманово, Колосово [17].

Рисунок 8 –Ареал распространения дуба черешчатого на Восточно-Европейской равнине

Леса в Приднестровье в основном представлены сухими и очень сухими гырнецовыми дубравами с характерным для них вертикальным расчленением [19,20,102]. В нижних частях склонов балок и по их днищам встречаются дуб пушистый (Querus pubescens Willd) и дуб черешчатый (Quercus robur L.). Здесь, как и в смежных районах Украины в лесопосадках известен дуб ножкоцветковый, а в качестве примеси – груша лесная, клен татарский, боярышник однопестичный и др. [20].

На долю поймы в самой южной Кучурганской типчаково-ковыльной степи приходится более 20% земель этого округа. В ней зафиксированы остатки некогда обширных дубово-ясенево-белотополевых лесных сообществ, занимающих значительные площади раскорчеванных и распаханных земель с влажными и свежими типами местопроизрастаний ($Д_3$, $Д_2$). В понижениях и прибрежных участках они мокрые и сырые.

Наибольшая лесистость зафиксирована в северном Каменском – 16,3%. В центральном Дубоссарском округе лесистость составляет лишь 10,5 %, а в южном наиболее безлесном степном округе она сокращена до 5 % (рис. 9).

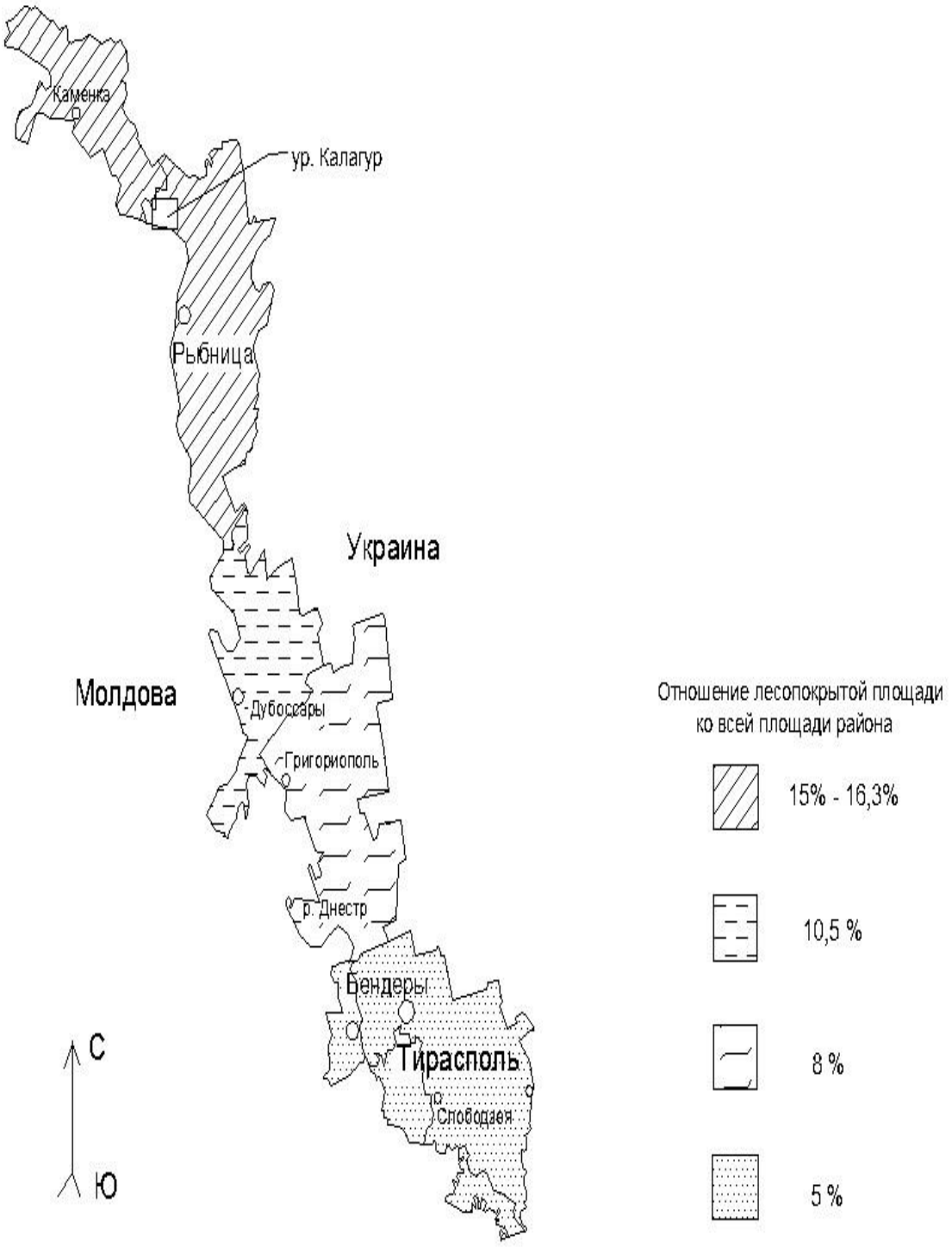

Рисунок 9 – Пространственная дифференциация лесистости Приднестровья (составлено автором)

Так как жизненная форма растительности, с одной стороны, отражает отличительные черты климата, а с другой – определяет структуру местообитания животных, то ее можно принять за разумную основу для естественной экологической классификации [105].

В ведении государственных органов лесного хозяйства Приднестровья на 26351 га покрытая лесом площадь составляет лишь 22202 га. Кроме того, в лесной фонд входят 1163 га лесов расположенных на землях сельхозпредприятий (табл. 3) [139]. Эти леса предназначены для выполнения природоохранных функций. Представлены они в основном лесопосадками лиственных пород древесных растений (82%) и хвойными (18%) почти около 29 % среди них насаждений дуба и белоакациевых 23 %.

Общий запас лесной древесины - 1925,2 тыс. $м^3$. В среднем запас на 1 га приходится 92 $м^3$. По возрастной структуре в лесопосадках на молодняки приходится 37%, средневозрастную группу 30%, приспевающие -14%, спелые и перестойные -19% [75,76,82,139].

В соотношении земель сельскохозяйственного назначения и лесных экосистем сложилось критическое для региона исследований положение (рис. 10 и 11), если в лесостепных Каменском и Рыбницком районах соотношение варьирует от 1:4 до 1:6, в южном степном Григориопольском районе оно почти 10-ти кратное, а в Слободзейском районе дисбаланс лесопокрытых земель по отношению к сельскохозяйственным землям просто катастрофичен (20-ти кратный).

Это указывает на срочную необходимость изменений в районной планировке земель степной зоны за счет интенсификации лесовосстановления прежде всего в Григориопольском и Слободзейском районах.

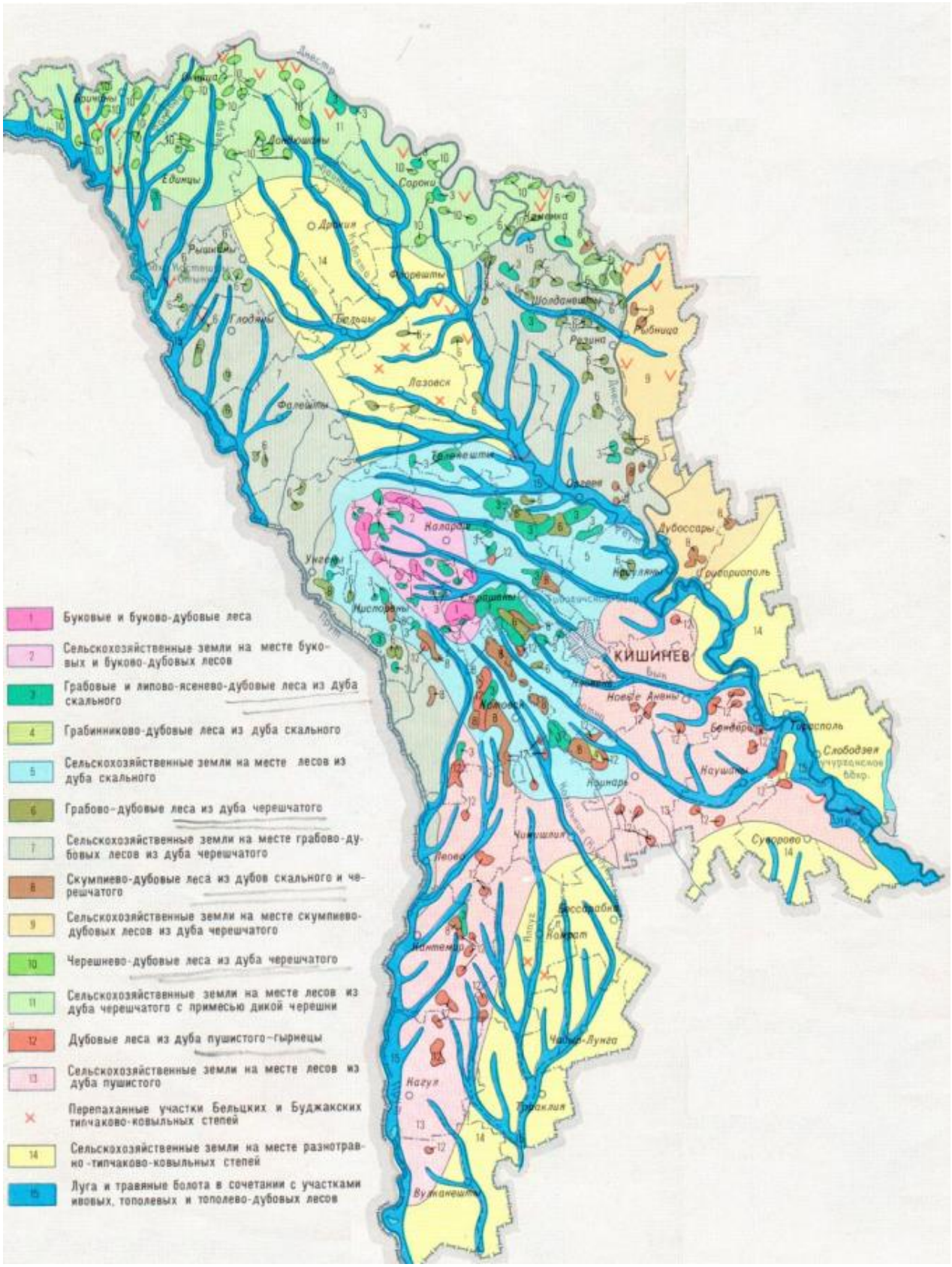

Рисунок 10 – Пространственная визуализация лесопокрытых и сельскохозяйственных земель Молдавии, по А.Т. Леваднюк [6]

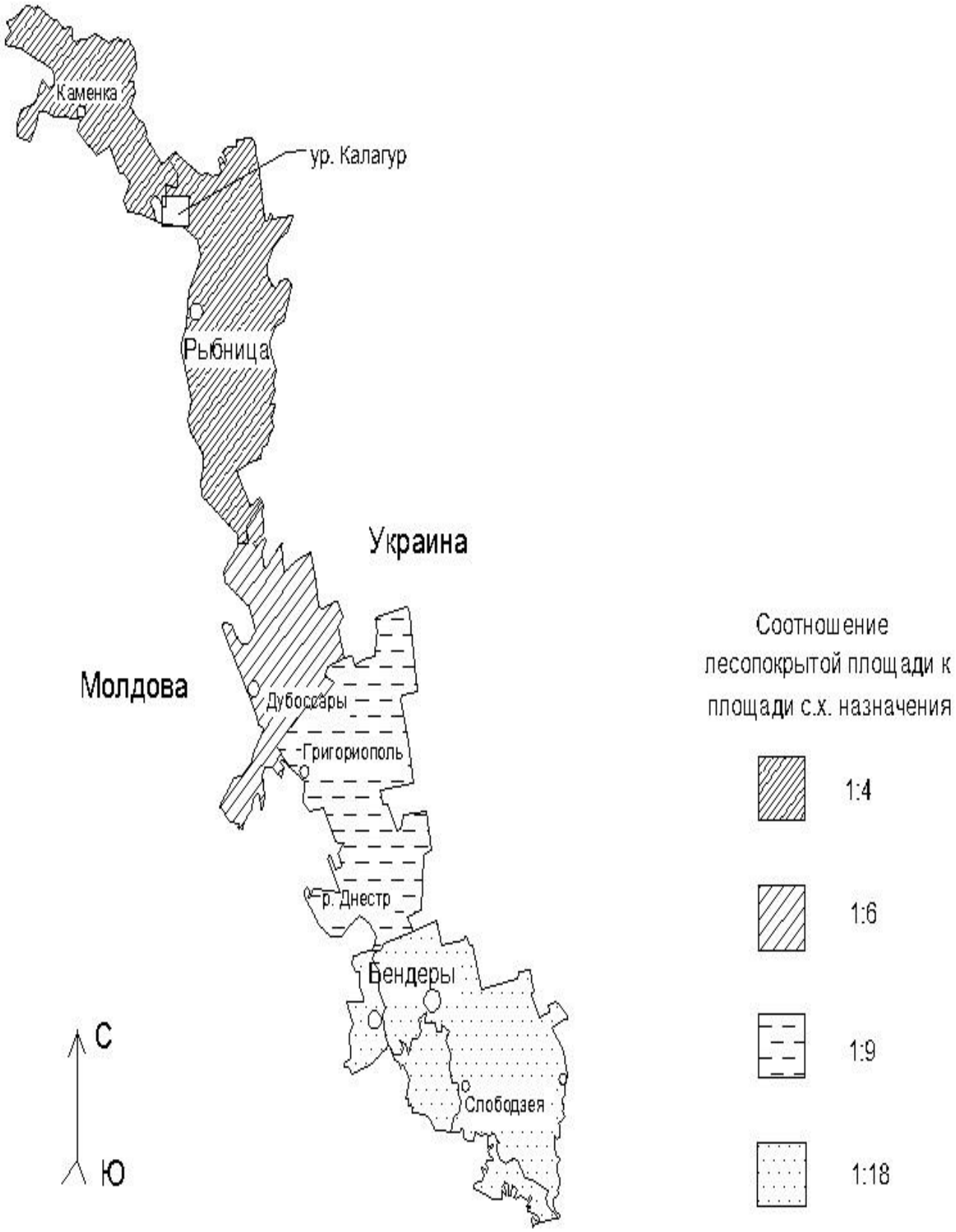

Рисунок 11 – Соотношение площадей лесопокрытых земель и сельскохозяйственного назначения в Приднестровье (составлено автором)

Таблица 3 - Распределение покрытых лесом земель в лесостепной (Рыбницкий лесхоз) и степной зонах (Григориопольский лесхоз и лесопарковое хозяйство) Приднестровья, по данным лесоустройства 2006 г.

Древесная порода	Рыбницкий лесхоз		Григориопольский лесхоз		Республиканское лесопарковое хозяйство		Итого	
	Площадь, га	%	Площадь, га	%	Площадь, га	%	Площадь, га	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дуб черешчатый	4069	32,5	1603	27,4	158	8	5830	28,7
Дуб скальный	122	1	-	-	-	-	122	0,6
Ясень обыкновенный	626	5	126	2,2	735	37,7	1487	7,3
Вяз	268	2,1	77	1,3	-	-	345	1,7
Клен остролистный	321	2,6	69	1,2	3	0,2	393	1,9
Клен полевой	43	0,3	-	-	6	0,3	49	0,2
Липа мелколистная	15	0,1	1	0,02	-	-	16	0,08
Тополь белый	37	0,3	147	2,5	589	30,2	773	3,8
Тополь черный	18	0,2	5	0,08	12	0,6	35	0,2
Ива	76	0,6	391	6,7	85	4,4	552	2,7
Черешня	33	0,3	-	-	-	-	33	0,2
Граб	66	0,5	-	-	4	0,2	70	0,3
Берест	27	0,2	3	0,04	22	1,1	52	0,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сосна	3125	24,7	741	8,1	13	0,8	3609	17,8
Акация белая	2643	20,95	1853	31,6	65	3,3	4561	22,3
Орех грецкий	325	2,6	571	9,8	1	-	897	4,4
Орех черный	21	0,2	-	-	-	-	21	0,1
Тополь канадский	57	0,5	244	4,2	190	9,7	491	2,4
Береза повислая	35	0,3	9	0,2	-	-	44	0,2
Ясень	18	0,1	22	0,38	-	-	40	0,2
Дуб красный	60	0,5	2	0,03	-	-	62	0,3
Клен явор	6	0,05	5	0,09	1	0,1	12	0,06
Ель европейская	13	0,1	-	-	-	-	13	0,06
Глядичия	28	0,2	43	0,7	2	0,1	73	0,4
Клен татарский	78	0,6	35	0,6	-	-	113	0,6
Прочие	367	2,9	162	2,7	-	-	529	2,6
Всего	12539	100	5847	100	1951	100	20337	100

Сравнительный анализ данных в таблице 3 отчетливо показывает значительно большую эффективность лесовосстановления в Рыбницком районе по сравнению с Григориопольском, как в целом по различным вилам древесных пород, так и по главному лесообразующему виду - дубу черешатому, площадь насаждений которого в 2,5 раза выше.

На левобережье Днестра леса по архивным материалам 1945 г. занимали 6,1 тыс. га (рис. 12) к 1985 г. их площадь сократилась до 3,1 тыс. га, а в 2018 г. составила лишь 1,1 тыс. га [120,121]. Негативный тренд обезлесивания продолжается и в настоящее время.

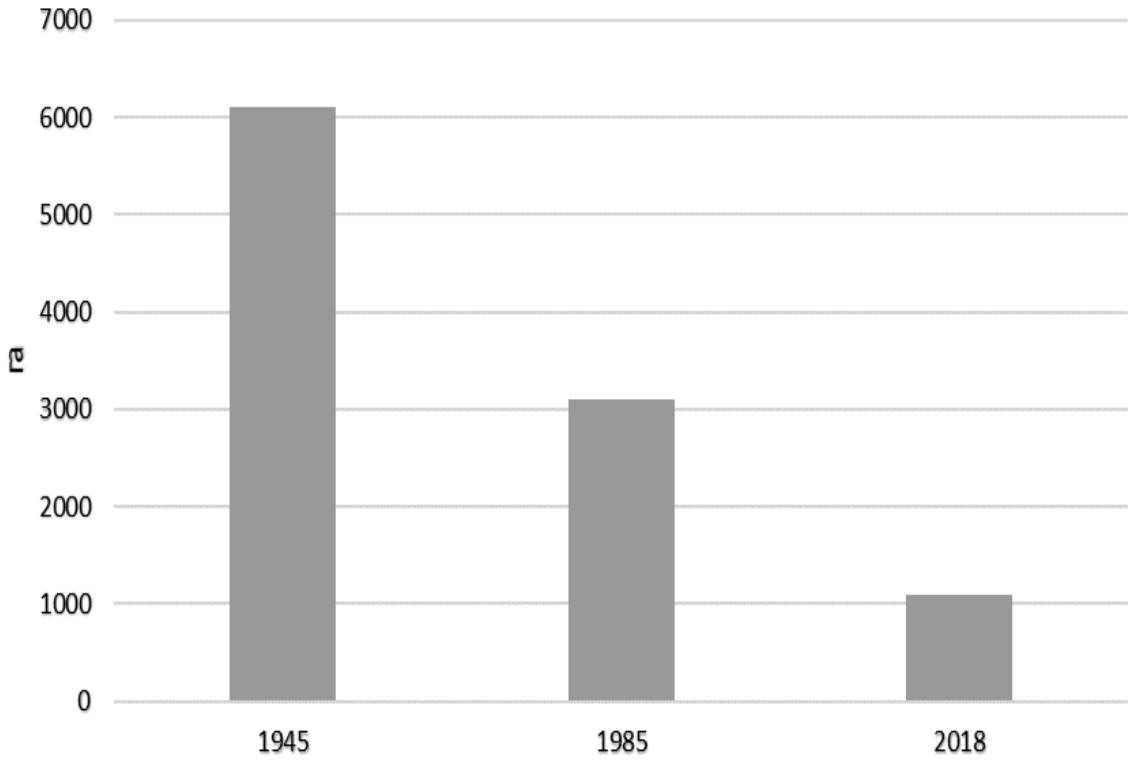

Рисунок 12 – Сокращение площади естественных лесов с участием дуба черешчатого в Приднестровье (1945-2018 гг.), га

Массовое уничтожение лесов привело к значительному увеличению оползней, усилению эрозии почв, резкому уменьшению доступных водных ресурсов. Резко сократилось и разнообразие видов естественной растительности – основы биологического равновесия в лесных ландшафтах и геоэкологической стабильности в исследуемых районах. Из-за интенсивных химических обработок сельскохозяйственных растений происходили вспышки и распространение вредителей леса, которые многократно уменьшили устойчивость лесных экосистем к антропогенным нагрузкам. Концентрирование высокотоксичных веществ растениями, животными и человеком негативно сказались на социально-экологической обстановке в регионе.

Уменьшение площади дубрав произошло не только в связи с их вырубкой, но и в результате перевода многих земель лесного фонда в категорию земель сельскохозяйственного освоения. Только за 1971 – 1983 гг. для сельскохозяйственного пользования в Приднестровье было передано около 5 тыс. га земель Гослесфонда [21,57,58,142].

Естественных лесов здесь почти не осталось. Их малочисленные и мелкие массивы сохранились на склонах и в других относительно труднодоступных местах. Все они представлены низкопродуктивной порослью производными типами, в составе которых дуб черешчатый представлен незначительно или совсем отсутствует.

В то же время в условиях возрастания антропогенно и техногенного воздействия на природные экосистемы естественные леса – важнейшие фактор и условие сохранения и восстановления биоразнообразия и биоравновесия в ландшафте. Естественные леса – неотъемлемые элементы предлагаемых многими инновационных биотехнологий - создания природных каркасов, инженерно-биологических комплексов [33,144,148], экологических сетей [3,118,122,129] как средств оптимизации природопользования.

В основе всех этих предложений лежат фундаментальные научные идеи Ю.П. Бялловича, В.В. Докучаева, Н.А. Лохматова и многих других авторов [13,71]. В современных условиях, как будет более подробно рассмотрено в главе 3 наиболее перспективный путь повышения хозяйственной ценности Приднестровских лесов – их семенное воспроизводство с преобладанием дуба черешчатого. Этот способ был разработан И.Н. Маяцким [85,86], впоследствии дополненным автором совместно с Б.И. Кочуровым [55,56]. Оценка значимости способов восстановления дубрав с доминированием дуба черешчатого среди его естественных материнских предшественников, сопряженная с количественным анализом геоэнергетических и геоэкологических параметров функционирования лесных экосистем были положены в основу принципиальной схемы лесовосстановления по природному типу.

2.4. Проблемы функционирования лесных экосистем (на примере урочища Калагур Рыбницкого района)

В излучине Днестра на его левом берегу сохранилось уникальный дубовый лес с редкими и эндемичными видами растений и фитоценозами на площади 740 га (координаты 47 53′12″с.ш. 28 56′ 00″в.д.), которые в прошлом были значительно богаче и разнообразнее (рис. 13).

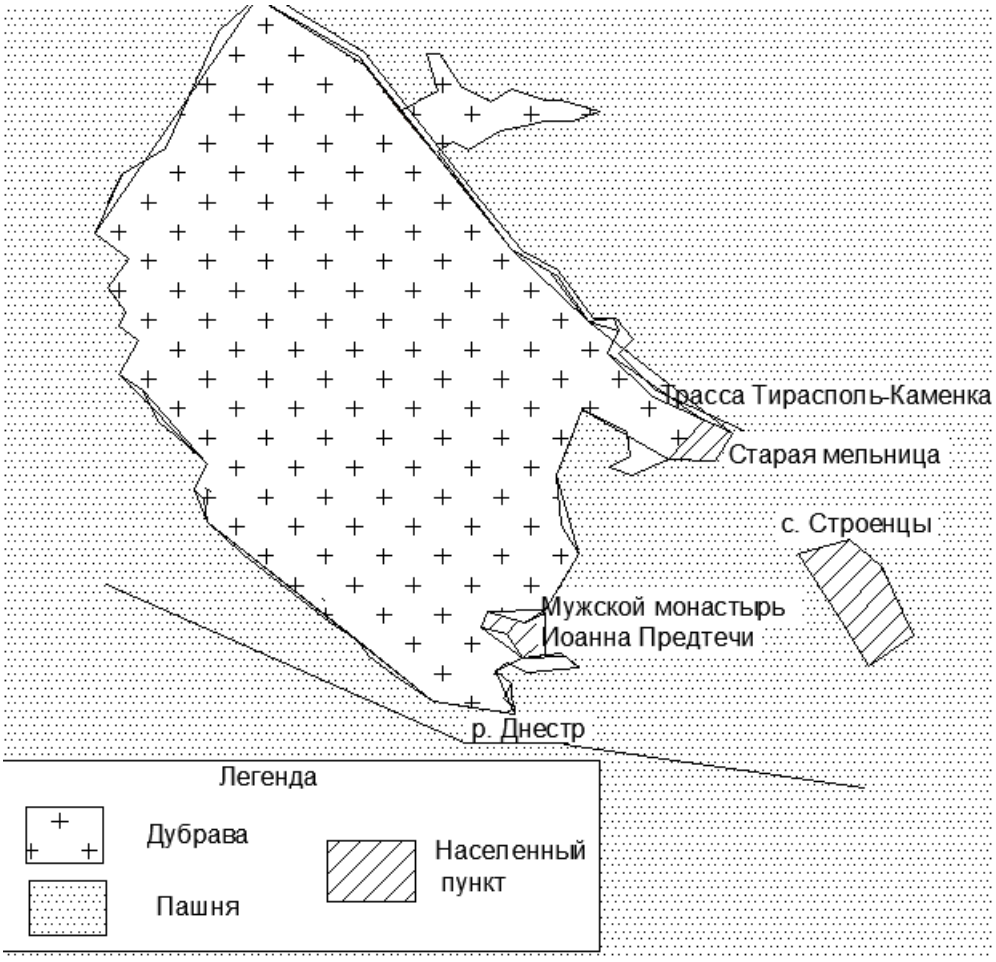

Рисунок 13 – Ключевой участок - дубрава урочища Калагур (составлено автором)

Доминирующие виды дубравы - дуб черешчатый, дуб скальный, дуб ножкоцветковый. Однако нынешнее состояние леса и направленность происходящих здесь процессов вызывают тревогу и требуют принятия особых и

неотложных мер по охране и восстановлению лесной экосистемы. Главная порода, эдификатор этих лесов - дуб черешчатый в силу разных причин уступил свое место липе войлочной, реже ясеню и грабу. По данным обследований лишь на 160 га в составе насаждений дуб черешчатый преобладает, а на остальных 580 га доминируют другие виды древесных растений (рис. 14).

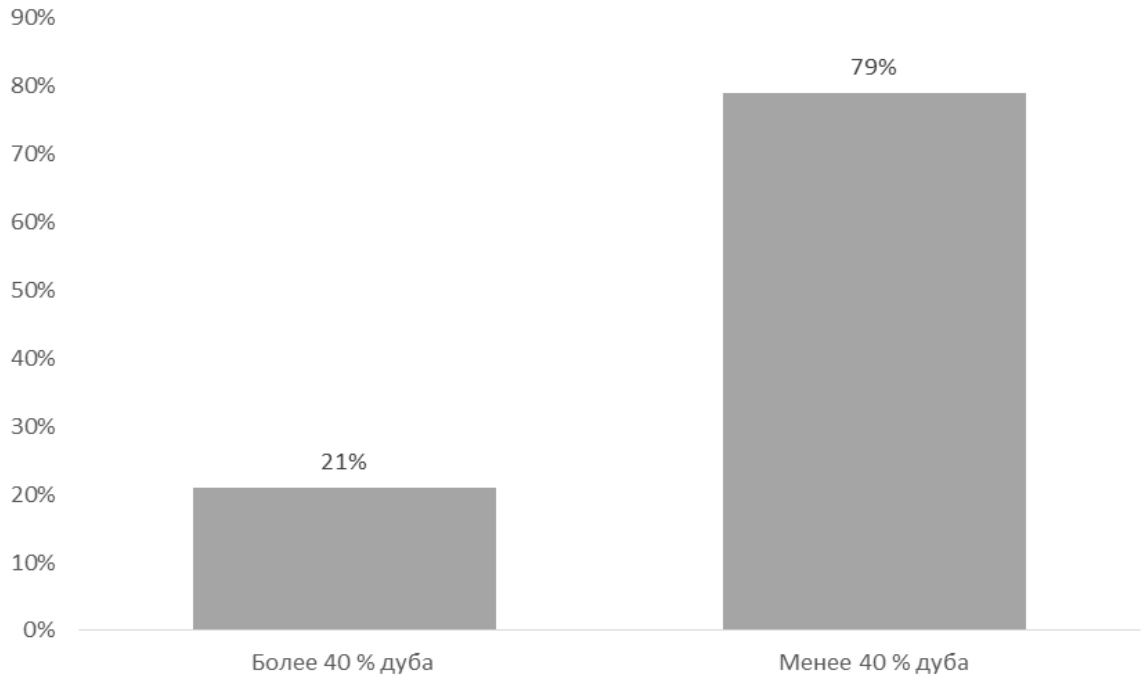

Рисунок 14 – Пространственная диспропорция доли дуба черешчатого в урочище Калагур

Известны различные объяснения причин усыхания дуба черешчатого и предлагаемые пути его воспроизводства [69,151,155]. По А.А. Молчанов [93], снижение биологической устойчивости и усыхания обусловлено несвоевременным проведением рубок ухода. В. Д. Новосельцев и И.И. Смольянов [104] связывают этот процесс с усилением засушливости климата, влиянием аномально низких температур, периодически повторяющихся и снижающих жизнеспособность лесной растительности.

Таким образом, уменьшается долевое участие дуба в лесопосадках. По данным лесоустройства, все деревья в урочище Калагур – порослевые. Чем моложе древостой, тем вероятнее, что сплошные рубки здесь проводились

большее число раз и здесь в составе экосистемы будет меньше дуба. Это подтверждает анализ лесоустроительных данных: в фитоценозе возраста 56 – 75 лет средневзвешенная доля дуба около 38%, в поколениях 76 – 85 лет – 49%, старше 86 лет – 83%. На возобновившейся после вырубки 17-летней поросли дуб отсутствует, хотя в составе материнского сообщества было четыре единицы главной породы (рис. 15).

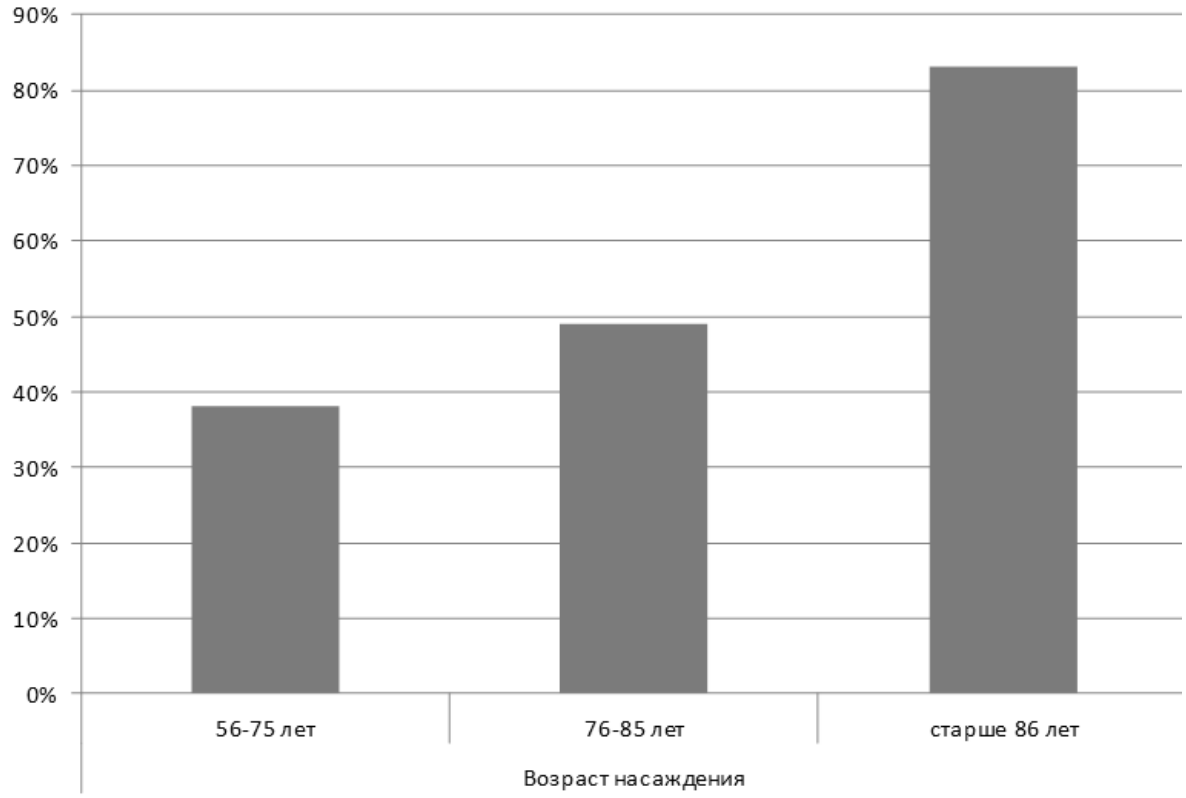

Рисунок 15 – Соотношение разновозрастных дубовых насаждений в урочище Калагур

Процесс исчезновения дуба в урочище Калагур, как и в других экосистемах ускоряет формальное отношение лесоустроителей к проведению проходных рубок, когда вырубаются только отставшие в развитии деревья, а липа и граб теснят поросль дуба, находясь с ним в одном пологе.

Вытесненный из основного полога дуб начинает усыхать. При очередной рубке усыхающие деревья дуба вырубаются. С каждой проходной, выборочной и даже санитарной рубкой доля дуба в экосистеме снижается.

По данным лесоустройства 1985, 1995 и 2006 годов [120,121] за 10 лет хозяйствования участие дуба в составе древостоев уменьшилось на 10 - 20%, хотя его доля, как наиболее ценной породы должна была бы повышаться как за счет сохранения числа его стволов в насаждении, так и за счет создания благоприятных условий, для прироста путем вырубки затеняющих его кроны сопутствующих пород (липа, граб и др.).

В результате «обездубливания» все порослевые лесопосадки в урочище Калагур «дубодефицитны» и требуют восстановления коренного типа древостоя доминировавшего в прошлом.

Восстановление Приднестровских дубрав может быть достигнуто лишь путем сохранения их первичной структуры с доминированием дуба черешчатого. Решение этой проблемы, возможно, найти посредством выращивания устойчивых его насаждений и умелого регулирования в процессе рубок ухода пространственных соотношений дуба с видами спутниками. Эти меры, обеспечивают наиболее высокую продуктивность дубрав и их устойчивость к неблагоприятным природно-климатическим явлениям [92].

Повышение устойчивости и продуктивности дубрав позволит при восстановлении лесных массивов коренного типа и выращивать товарные дубовые древостои с высококачественной древесиной. При создании искусственных дубрав подбор древесных пород в них должен соответствовать таковым в естественных лесных массивах и близких по условиям местопроизрастания. Такие дубравы будут не только устойчивы к неблагоприятным эколого-географическим условиям, но и характеризоваться повышенной продуктивностью и товарностью. Кроме того они будут выполнять природоохранные функции и в целом способствовать восстановлению экологического равновесия и биологического разнообразия территории [4,10,15,16,98]. Став биогеоценотическими оазисами дубравы будут способствовать формированию и функционированию природных каркасов [85], экологических сетей, создаваемых с целью геоэкологической оптимизации ландшафта.

На большей части Приднестровья к зональным типам относятся очень сухие и сухие дубравные местопроизрастания ($Д_0$, $Д_1$), а в понижениях рельефа и в отдельных возвышенных местах в северной части левобережья Днестра – свежеватые и свежие ($Д_{1-2}$, $Д_2$) [60]. В таких условиях естественное возобновление дубрав растягивается на длительный период, чем и оправдываются разработки вариантов оптимизации лесохозяйственной деятельности, отличающихся по биологической устойчивости и товарности выращиваемой лесной продукции. Специфично для Приднестровья разнообразие условий местопроизрастания лесонасаждений даже на разрушенных эрозией землях, передаваемых в основном под плантации быстрорастущей белой акации.

Подобная ситуация разрушения исторически сложившихся природных условий существует не только в Приднестровье, но и для страны в целом данная проблема приобрела значительную остроту. Решить эту проблему возможно лишь, разрабатывая различные варианты более рационального природопользования, в том числе и используя геоэнергетический подход предлагаемый в настоящей работе.

2.5. Анализ путей оптимизации функционирования дубрав

Поиски решения проблемы возобновления дубрав лесоводственными методами, поиск наилучших способов рубок начались в конце XIX – начале XX столетий. Первые попытки перехода от сплошных к разреженным рубкам не дали положительных результатов, не обеспечили удовлетворительного естественного возобновления [22,27,29,87]. К этому же времени относится предложение ряда авторов, которые считали одной из основных задач в сложном комплексе лесохозяйственных работ формирование высококачественного, а не дровяного леса. Они впервые чётко поставили вопрос о неудовлетворительном возобновлении семенного дуба на лесосеках сплошной рубки и смене его другими породами [12,65,95,96,119,137,145].

Исследования, проведенные в Шиповом лесу Воронежской области выявили, что здесь большие сплошные рубки были проведены дважды – в 1710 – 1770 гг. и в 1810 – 1830 гг. [148]. Несмотря на то, что в обоих случаях рубка проводилась без учёта урожайных годов и возобновления под пологом леса, восстановление дубовых насаждений произошло в значительной мере семенным путём. Это явно указывало на то, что самосева и подроста под пологом леса было достаточно.

Исследователи объясняли это тем, что в дубравах XVIII- начала XIX веков было значительно больше птиц, истреблявших энтомовредителей, а также больше лис, куниц и других представителей отряда хищных, питающихся главным образом мышевидными грызунами. Много было также: соколов и сов, питавшихся мышами. В настоящее время разнообразие лесных зверей и птиц резко сократилось, а некоторые вообще исчезли [62,63,94].

Нерегулируемый отстрел животных и хищных птиц – недопустимое вмешательство в лесной биогеоценоз, в котором все взаимосвязано и взаимообусловлено, вызвало биологический дисбаланс, который и повлиял отрицательно на биологическую устойчивость воронежских дубрав и их способность к самовосстановлению.

На фоне уменьшающейся площади лесных урочищ, усиления выпаса скота в лесах сопровождалось уничтожением подроста и подлеска – важнейших структурных элементов лесной экосистемы. Изреженные под влиянием выпаса насаждения превращались в постоянные очаги массового размножения листогрызущих вредителей, так как характерные для леса представители живого напочвенного покрова и подлесок необходимы для развития энтомофагов, препятствующих увеличению численности вредителей. Проведение истребительных мер против вредителей леса даже при их самой высокой эффективности (95 – 98% гибели) не ликвидировало очагов, в которых сохранялись условия для их формирования [101].

Все более часто повторяющиеся вспышки численности насекомых вредителей ослабляли дубравы в первую очередь их плодоношение. Урожайные

годы стали повторятся все реже. Нарушился естественный процесс подроста дуба в лесных биогеоценозах, ранее своевременно пополняемый самосевом и почти ежегодным плодоношением дуба. Объедание молодых листьев дуба пасущимися домашними животными усиливало развитие пород - спутников: граба, липы, клёнов, с ростом их численности. При очередной сплошной рубке их поросль занимала пространство кроны, вытесняла редкий подрост и самосев дуба.

С целью обеспечить сохранность самосева был предложен ряд способов возобновления роста дуба в лесной экосистеме (табл. 4)

Таблица 4 – Лесохозяйственные рекомендации улучшения и возобновления участия дуба на лесосеках методом самосева

Г.С. Иванов [23,37]	В. Г. Нестеров [101]	Н.С. Забросаев [31,99] , В.В. Гурский [26], Б.В. Ткаченко [143], П.А. Седашев [138]
Самосев дуба под пологом леса – важнейший способ успешного естественного семенного возобновления насаждений дуба.	Напочвенный покров лесных видов трав на вырубках полезен для самосева защищая его от солнцепёка.	Для защиты посадок дуба от солнцепёка, засух и заморозков предложено культивировать его в первые 2 – 3 года роста на сплошных лесосеках с травяным покровом и порослью других древесных растений (подобие «шубы»).

Нерегулируемая пастьба скота обозначила наступление второго этапа вмешательства человека в лесные биогеоценозы, которое привело к снижению их биологической продуктивности и способности к естественному восстановлению

высокопродуктивных, с высокими товарными качествами древостоев. Деградирующие лесные экосистемы, не выполнявшие свои естественные функции, стали вырубать. Отдельные участки лесов восстанавливали в основном порослевым способом.

Сомкнутость полога поросли сопутствующих пород деревьев и кустарников в первые 3 года после рубки не превышает 0,3, последняя должна сохраняться. После трех лет влияние поросли становится явно отрицательным [104].

Рекомендуется сохранить живой напочвенный покров и поросль других древесных растений, накопление самосева дуба из-за антропогенной трансформации лесных экосистем в Приднестровье не происходит, поэтому его необходимо вводить посадкой саженцев [86].

Задержка с вырубкой приводит к гибели самосева дуба. Основное условие успеха – осветление: раннее начало (не позже трех лет), высокая интенсивность (вначале изреживание поросли до сомкнутости полога 0,3; позже – сплошная уборка поросли), частая повторяемость (через 2 - 4 года) [99,104,109].

Посевы дуба на вырубках и под пологом насаждений за 1 – 2 года до рубки (особенно под полог насаждений) оказались весьма удачными, более приемлемые с лесоводственной точки зрения и экономически выгоднее [83].

Способы возобновления дубрав на основе дуба черешчатого с элементами лесокультурной агротехники предлагали: Г. А. Корнаковский [42], Е.И. Енькова [28], И.Г. Зыков [34], Ю.П. Кравчук [59] при отсутствии самосева дуба на момент рубки рекомендовал вводить его искусственно на лесосеки посевом или посадкой. Во избежание повреждения посевов мышевидными грызунами за посев желудей весной выступали Г. А. Порицкий, М. И. Гордиенко, Н. В. Шикимака [115,117]. Они же считали целесообразным изреживание поросли дубов третьей - четвертой генерации до полноты 0,5 и ниже (табл. 5).

Преимущества посевов дуба усматривались в том, что их всходы развиваются под защитой полога, не повреждаются солнцепёком, поздними весенними заморозками. При этом исключается отрицательное влияние

травянистой растительности и сокращается срок возобновления роста. Дубки, окрепшие под пологом материнского древесного сообщества более устойчивые и в первые 2 – 3 года не требуют дополнительных уходов [36, 83].

Таблица 5 – Рекомендуемые способы лесовосстановления дубрав

Автор	Способ
И. Н. Маяцкий [83]	Сохранение подлеска обеспечивающее размножение большинства энтомофагов в лесных массивах.
Б. В. Ткаченко [143]	Распространение культуры дуба на нераскорчеванных лесосеках.
И. С. Мелехов [88]	Естественное возобновление сопутствующих пород деревьев и кустарников.
П. А. Алентьев [2]	Площадные культуры дуба для повышения устойчивости молодых дубрав.
А. Б. Жуков [30]	Культивирование культур дуба в виде полос-лент на вырубках из 2 – 3 рядов биогрупп (посев или посадка), способных противостоять сорнякам и поросли сопутствующих древесно-кустарниковых пород. В таких культурах лучше, чем в однорядных происходит самоизреживание, отбор наиболее жизнестойких, обладающих большей силой роста деревьев.

Из различных способов восстановления дубрав в условиях Приднестровья наиболее приемлемы предложенные А. Б. Жуковым [30] и И. Н. Маяцким [83], а площадные культуры дуба в условиях региона менее эффективны.

Для возобновления подроста дуба под пологом насаждений предлагаются и другие меры[108]:

- прекращение пастьбы скота;

- рыхление почвы после опада желудей с их заделкой;

- удаление подлеска в год опадения желудей;

- уборку второго яруса спутников дуба через 1 – 2 года после всходов;

- сохранение опушек на выходах к сельскохозяйственным полям;

- запрещение охоты на лис и создание условий для гнездования сов.

Часто прибегают к сплошной корчевке лесных пней, чтобы в дальнейшем применять высокопроизводительные лесотехнические машины и орудия. Трелевка пней, планировка поверхности и плантажная вспашка – все эти операции ухудшают лесорастительные условия и влекут за собой потерю генетического потенциала лесных сообществ [9,97].

Большинство авторов, занимавшихся изучением методов лесовосстановления отмечают, что концентрирование на вырубках подроста дуба не полностью гарантирует успех восстановления дубравы. Не менее важен второй этап - сохранить подрост дуба от пространственной конкуренции с порослью сопутствующих пород деревьев и кустарников. Очевидна необходимость систематических рубок ухода для формирования смешанных по составу и сложных по форме растительных сообществ с преобладанием дуба в верхнем пологе (табл. 6).

Таблица 6 –Сравнительный анализ предложенных способов формирования растительных сообществ с преобладанием дуба черешчатого

Автор	Способ
1	2
П. П. Изюмский [35]	В лесных культурах, созданных по нераскорчеванным вырубкам с использованием естественного возобновления подроста древесных спутников дуба и кустарников, предложены рубки ухода по коридорному методу с сокращением их повторяемости. Благодаря этому с молодого возраста формируется второй ярус посадок дуба. Затененные в коридорах с боков, но освещаемые сверху дубки менее повреждены воздействию заморозков и солнцепека их прирост в

1	2
	высоту 7 – 8 м, в среднем на 20 – 30% больше, чем при сплошном возобновления роста других ценных пород (например ясеня). В культурах по площадочному методу - своевременное изреживание дуба с оставлением 5 – 8 растений на 1 $м^2$, а при последующих рубках уменьшением их от 2 – 4 до 1 – 2 на 1 $м^2$.
Л. Н. Бобраков [11]	Прореживание посадок предложено проводить на 2 – 3 год после начала культивирования; последующие – через 2 – 3 года (с появлением угрозы затенения его кроны). В дальнейшем при рубках ухода – регулирование пространственного соотношения дуба и сопутствующих видов с целью обеспечения условий освещенности их крон.
С. А. Генсирук, Б. И. Логгинов [22,66,67]	Комбинированный способ с целью сокращения периода лесовосстановления - культивирование дуба самосева и саженцами проводят сразу после зимней рубки по снежному покрову.
Б. Д. Новосельцев, В. А. Бугаев [103]	Культивирование сопутствующих растений самосевом под пологом обеспечивается естественное возобновление дубрав. В сочетании с лесоустроительными мерами.
Г. И. Редько, А. Р. Родин, И. В. Трещевский [130]	Сочетание естественного и искусственного лесовозобновления – комбинированный способ создания лесных культур. Естественное возобновление леса с сокращением срока выращивания дубов в наиболее соответствующих по составу и строению условиях местопроизрастания, более устойчивых против лесных вредителей и болезней.

Предпочтительнее других способ Л.Н. Бобракова [11], так выращивание саженцев дуба позволяет формирование лесные культуры в сжатые сроки, тогда как культуры самосева могут быть растянуты по времени вследствие долгих периодов отсутствия плодоношения у дуба в условиях Приднестровья. В связи с этим его важны предложения об удалении подлеска в год опадания желудей и вырубка второго яруса через 1 – 2 года после всходов. Последнее с корректируется предложениями А. Б Жукова, С. С. Пятницкого [29,30,128].

С распространением в лесохозяйтсвенном производстве мощной техники на вырубках стала доступной частичная и сплошная корчевка. Технология формирования лесных культур при этом значительно упростились: корчевка, но и последующие очистка, вспашка, культивация, посадки; уходы в междурядьях стали проводиться механизировано. Это позволило и лесовосстановление осуществлять на больших площадях. Для удобства механизации междурядья в создаваемых лесных культурах по сплошь подготовленной почве увеличивались с 1,5 м до 2,5 – 3,0 м. Отодвигалась в будущее и проблема заглушения дуба перерастающими его кустарниками и сопутствующими породами. Сокращалось количество необходимых для сохранения дуба осветлений.

К 70-ым годам XX столетия в отечественной лесохозяйственной науке [64] определились два основных пути решения проблем восстановления дубрав.

Первое направление базируется на биологических особенностях дуба и предусматривает формирование предварительных лесных культур посевом или посадкой (за 1 – 3 года до рубки). Сюда же относится культивирование дуба по нулевым вырубкам - рядами, площадками, полосами. При этом частично сохраняется лесная экосистема, используется естественное возобновление сопутствующих древесных пород и кустарных растений (рис. 16).

Второе направление в значительной мере связано с развитием машинных технологий - применением тяжелой техники для сплошной раскорчевки вырубок, плантажной вспашки, использования при строительстве зданий и сооружений на обезлесенных участках и др. Это во многих случаях привело к разрушению

лесных биогеоценозов и всех его компонентов - почвенной структуры, подроста, подлеска, напочвенного покрова и др. [31].

Лесоустроители зачастую забывают при этом о природоохранной, стабилизирующей роли лесных экосистем. При сплошной подготовке почвы в культуры вводится 2-3 вида – в лучшем случае, главный, сопутствующий и кустарниковый (рис. 17). В этом случае восстановление высокопродуктивных и высокотоварных древостоев становится маловероятным.

Рисунок 16 – Лесные культуры Приднестровья с предварительными посадками дуба черешчатого

Отрицательное влияние трелевки древесных стволов на состояние молодых посадок неоднократно указывали Е.И. Енькова, Н.В. Ромашов и В.М. Сапожникова и др. [28,132,136]. Применение тяжелых механизмов при лесосечных работах не только разрушающе действует на лесную экосистему (уплотнение почвы, уничтожение подстилки, уменьшение водопроницаемости, интенсивности фильтрации влаги в почве и др.), но также приводит к гибели подроста, самосева дуба и его спутников. В целом использование тяжелых механизмов на лесохозяйственных и лесокультурных работах приходится

признать сильнейшим негативным фактором разрушения лесных биогеоценозов. Поэтому при проведении любых лесохозяйственных работ в лесу необходимо всегда и каждому соблюдать правило «не навреди». Лесной биогеоценоз как система, как сообщество, как любой живой организм не терпит грубого вмешательства.

Рисунок 17 – Объединенные по составу лесные культуры дуба с использованием тяжелой техники и других средств механизации

Однако подобные увещевания мало чему помогают, для исправления кризисных ситуаций в лесах необходимы срочные изменения в лесных законодательствах многих стран мира и воля их руководителей к соблюдению общепризнанных норм и правил лесопользования без ущерба не только нынешнему, но и последующим поколениям человечества.

Разумеется механизация позволила осуществить лесовосстановление в значительных объемах. Однако, как справедливо подчеркивал И.С. Мелехов [88], выращивание дубрав нельзя ограничивать рамками искусственного их возобновления. Необходимы разработки более эффективных природосообразных

методов. Большое значение в связи с этим приобретает обоснование способов рубок ухода наименьшими нарушениями условий функционирования лесной экосистемы.

Большинство биологов-лесоводов рекомендуют использовать приемы естественного возобновления роста дубрав предварительной шпиговкой желудей в лесную почву сочетании с ранним прореживанием лесопосадок. Такой способ наиболее удачен и экономичен. Однако во многих лесхозах Приднестровья на такую возможность естественного семенного возобновления не обращают должного внимания, вырубки зачисляются в лесокультурный фонд и на них по прежнему создаются лесные культуры искусственным путем.

Местоположение и значимость отдельных компонентов лесного биогеоценоза изменчивы в процессе его формирования, так В.Д. Новосельцев и И. И. Смольянов [104] в формировании дубрав выделили пять основных этапов:

1) площадное сосредоточение на лесосеках, вырубках подроста дуба в результате самосева, подсева желудей под полог насаждений (шпиговка), посадка (посев) культур, появление всходов, их укоренение, приживаемость посевов и посадок, образование поросли (длительность этапа не менее двух лет);

2) образование полога насаждений до смыкания крон, начиная с третьего вегетационного года на пятый – восьмой год; обеспечение сохранности подроста дуба; прополка, уборка поросли сопутствующих древесных пород в том числе путем обезвершинивания; обеспечение выхода дуба его в один полог с порослью сопутствующих древесных и кустарниковых пород.;

3) формирование состава и структуры лесного фитоценоза рубками ухода, проведения осветлений (в культурах – по коридорному способу), прочисток и первых прореживаний (для дуба) с 8-летнего возраста до 18 – 20-лет;

4) стабилизация смешанного состава и сложной структуры с преобладанием в первом ярусе дуба лесного фитоценоза с помощью рубок ухода с 20 летнего до 80 летнего возраста для дуба.

5) старение и отмирание дубового древостоя, старше 80-ти летнего возраста.

Несмотря на детальные научные разработки и обоснованные практические рекомендации ученых лесоводов снижение геобиоэкологической устойчивости дубрав падение их продуктивности и длительное продолжающееся усыхание дуба указывают на существенные недостатки в системе ведения лесного хозяйства не только в Приднестровье, но и в других регионах, проявившиеся в ухудшении структуры лесных экосистем, нарушении или полном исчезновении ярустности, исчезновении спутников дуба, деградации подлеска [69,70,107,116,126]. Последовательность трансформационных процессов представляется таким образом:

1) нерегулируемый отстрел лесных животных и птиц, питающихся мышевидными грызунами;

2) нерегулируемый выпас скота в лесах, уничтожение подроста, подлеска и напочвенного покрова – биотопа, насекомых – энтомофагов, распространение очагов размножения листоедов, как правило вблизи населенных мест [99,100,146];

3) авиахимобработка лесов и полос с уничтожением птиц, рептилий, млекопитающихся. Листогрызущие членистоногие даже при высоком проценте их гибели при обработках многократно объедали листву, что приводило к гибели древесных и кустарниковых растений. Лесной биогеоценоз в этих условиях переставал быть саморегулирующейся экосистемой [106];

4) ошибки в изреживании древостоев при проходных и выборочных рубках;

5) сплошная рубка, корчевка, плантажная вспашка и т.д., с использованием тяжелой техники, значительно уничтожения дубрав.

Напротив развиваясь в оптимальных экологических условиях дубравы и созданные человеком при удачном ценотически подборе древесных и кустарниковых пород, образовывали биоценозы устойчивые к воздействия вредителей и отличающиеся повышенной продуктивностью. Положительное влияние на рост и состояние дубовых посадок подбора сопутствующих пород с учетом их фитоценотической совместимости отмечалось неоднократно[60,68,84].

Большинство исследователей согласны с тем, что в очень сухих и сухих условиях местопроизрастания самосев дуба практически отсутствует. Поэтому

так необходимо продолжать поиски приемов и способов восстановления и воссоздания дубрав в Приднестровье, биологически устойчивых и высокопродуктивных к неблагоприятным природным и антропогенным факторам, с целью сохранения биологического разнообразия и природоохранных функций лесных экосистем [49,50,77,78].

Выводы по второй главе. Уникальное местоположение в условиях перехода между лесостепной и степной зонами распространения дубрав в бассейне реки Днестр определяется геолого-геоморфологическими и биоклиматическими возможностями произрастания и восстановления лесных экосистем. Аридизация климата (его засушливость) региона исследований в целом ускоряют деградацию и усыхание дубрав на юге Приднестровья. Однако основной фактор их исчезновения - антропогенная деятельность (вырубка лесов и распашка земель), изменяющая соотношения лесопокрытых земель к сельскохозяйственным и увеличивающая суммарную антропогенную нагрузку, что резко снижает коэффициент их естественной защищенности.

Вызванная деятельностью человека и изменениями климата трансформация лесных экосистем привела к дисбалансу пространственной дифференциации лесистости с 15-16 до 5 %, а соотношения лесопокрытых и сельскохозяйственных земель - с 1:4 до 1:18 от в северных лесостепных до южных степных районов Приднестровья.

Выявлен долговременный (с 1945 по 2018 гг.) тренд снижения почти в 6 раз площади восстанавливаемых лесов с преобладанием дуба черешчатого. В уникальной природной дубраве урочища Калагур в излучине р. Днестр наиболее значительное сокращение доли дуба произошло на 580 из 740 га лесного массива с утратой его доминирования ниже 40 % доли. Установлено преобладание старовозрастных древостоев дуба черешчатого на большей площади урочища.

Для оптимизации лесовосстановления необходима разработка энергоэффективных технологий с использованием естественного почвенно-растительного материнского субстрата, уменьшением доли техногенной и трудозатратной составляющих масс-энергобаланса.

ГЛАВА 3. ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

3.1. Оценка геоэкологической емкости лесной экосистемы

Проблема оценки состояния природных экосистем в Приднестровье стоит достаточно остро, биоресурсы и емкость лесных экосистем не оценены, а без таких оценок практически невозможно сохранить их естественное биоразнообразие в соответствии с принципами рационального и эффективного природопользования [80,81].

Основные параметры геоэнергетической оценки изучаемой лесной экосистемы: солнечная энергия, поступающая на ее поверхность; потенциальная энергия выпадающих осадков; энергопотенциал (биомасса) и биоразнообразие видов в пределах лесной экосистемы [112,147]. Эти параметры позволяют оценить степень техногенной трансформации экосистем, влияние антропогенной деятельности на изменения видового состава и численность фауны и флоры, определить нагрузку на экосистему, рассчитать энергопотенциал её биомассы и экологическую емкость лесной экосистемы в целом.

Солнечная энергия (E_S). На 1 гектар в год лесной экосистемы урочища Калагур по расчетам автора ежегодно поступает 45×10^{12} Дж энергии.

Потенциал выпадающих осадков (E_{pr}). Второй важный фактор, определяющий увлажненность лесной почвы. Энергия в виде дождя и снега, вычислена составляет $2{,}47\times10^{7}$ Дж на 1 га в год.

Энергопотенциал экосистемы (E_{pe}). По фактическим данным автор рассчитал энергопотенциал фитомассы 1 га лесного массива урочища Калагур с преобладанием дуба черешчатого (эдификатор лесных экосистем Приднестровья): 1) за эталон продуктивности был принят запас 75-летних естественных семенных насаждений дуба (III-го бонитета) по лесоустроительным материалам Министерства сельского хозяйства и природных ресурсов Приднестровья; 2)

показатели средней плотности древесины дуба черешчатого кг/м^3 преобладающей древесной породы (табл.7) и удельной теплоты её сгорания 1 м^3 (табл.8).

Таблица 7 – Физическая плотность древесины [50]

Порода дерева	Плотность, кг/м^3
Хвойные породы	
Пихта	430
Ель	420
Кедр	510
Лиственница	545
Лиственные породы	
Береза	580
Вяз	620
Бук	650
Ясень	650
Дуб	630
Граб	720
Липа	400

Таблица 8 - Теплота сгорания древесины [50]

Вид древесины	Количество теплоты на 1 кг, КДж
Ель	16250
Сосна	15800
Дуб	15500
Граб	15100
Липа	14400

По исходным данным рассчитали количество энергии, содержащейся в 1 м^3 древесины дуба – 11625 МДж. Зная породный состав и возрастной состав, и запас

древесины на 1 га площади лесного массива оценили энергопотенциал на площади 1 га лесной экосистемы с преобладанием дуба черешчатого $14{,}5\times10^{10}$ Дж (табл. 9).

Таблица 9 – Геоэнергетическая емкость 1 га лесной экосистемы урочища Калагур

Статьи природной энергии	Дж/год
Солнечная энергия	$45{,}14\times10^{12}$
Потенциал выпадающих осадков	$2{,}47\times10^{7}$
Энергопотенциал экосистемы	$14{,}50\times10^{10}$
Итого (геоэнергетическая емкость)	$45{,}14\times10^{12}$

Разработанная автором методика расчёта энергопотенциала лесных экосистем в энергетических показателях (джоулях) применялась в дальнейшем в масштабе всего Приднестровья (табл. 10, рис. 18).

Таблица 10 – Энергопотенциал лесных экосистем по административным районам Приднестровья, ТДж

Каменский	Рыбницкий	Дубоссарский	Григориопольский	Слободзейский
9344,5	7728,5	4968,3	4267,7	2759,8

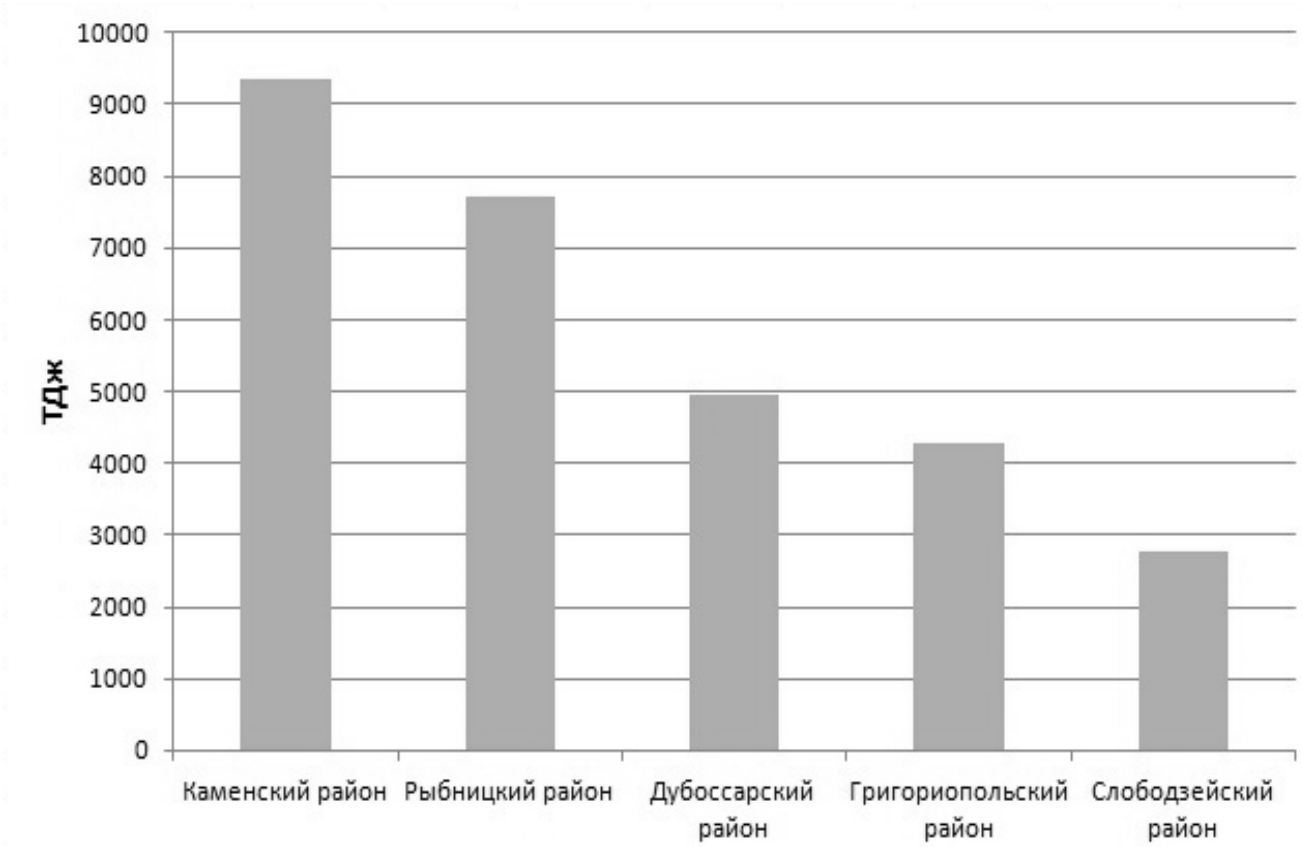

Рисунок 18 – Сокращение энергопотенциала лесных экосистем от северных лесостепных к южным степным районам, ТДж

Сравнительный анализ показал, что самым низким энергопотенциалом обладают лесные экосистемы Григориопольского и Слободзейского районов в условиях сильного антропогенного воздействия высока степень трансформации экосистем, которые интенсивно деградируют сокращая биоразнообразие кустарников и трав естественных растительных ассоциаций (рис. 19).

Снижение доли дуба в насаждениях отрицательно сказывается на степени самоорганизации и устойчивости лесной экосистемы. Для исправления кризисной в южных районах Приднестровья понадобится гораздо больше усилий (прежде всего энергетических), лесные экосистемы здесь значительно меньше по площади чем на севере республики.

Из полученных данных видно, что основная составляющая природной энергии лесной экосистемы в урочище Калагур - солнечная энергия, на втором месте значение потенциала выпадающих осадков, которое минимально.

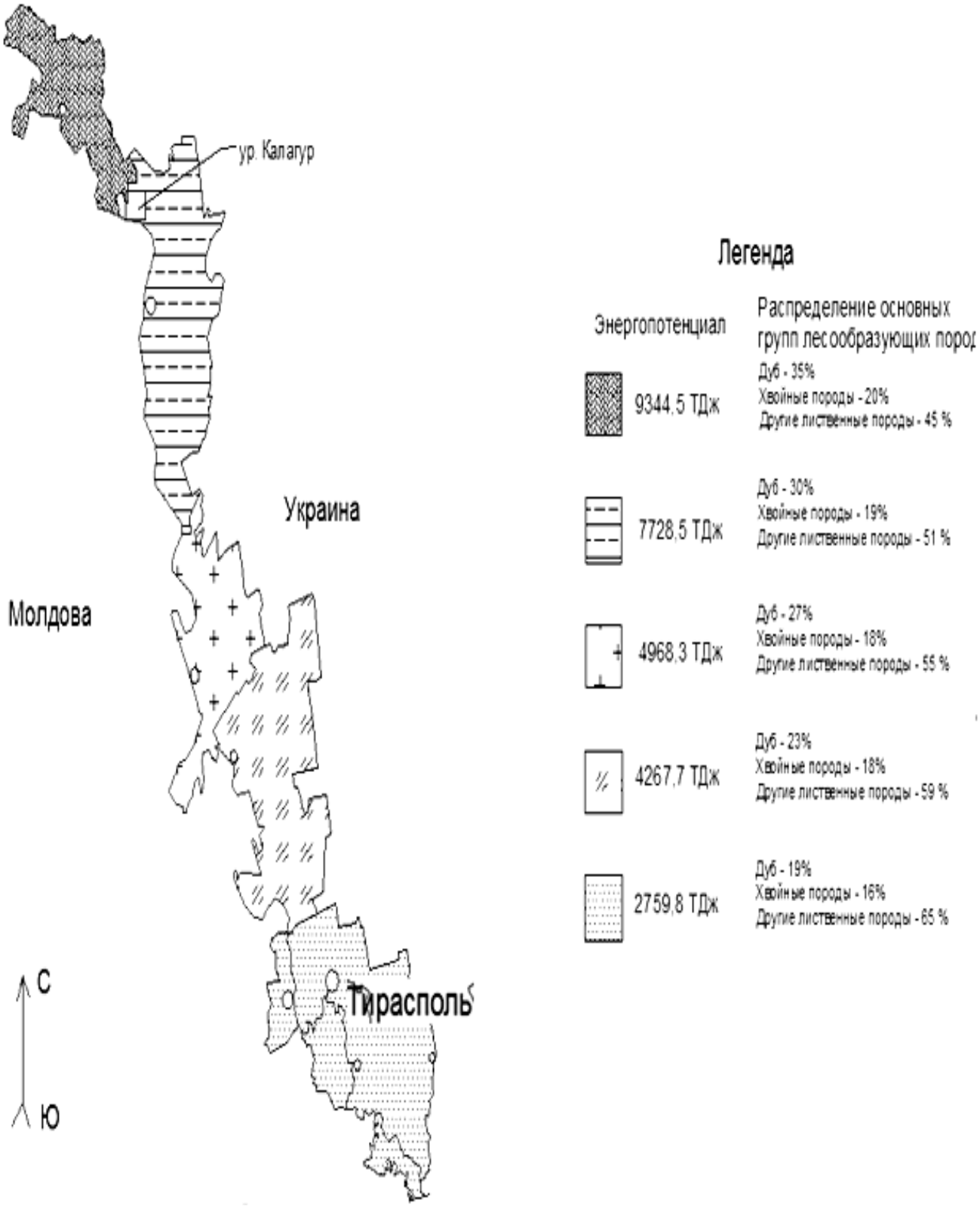

Рисунок 19 – Пространственное распределение энергопотенциала ТДж и основных групп лесообразующих пород % в экосистемах Приднестровья (составлено автором)

Особое значение в обосновании геоэнергетического подхода представляет понятие «энергетическая природная рента» предложенная К.А. Шуркиной [149].

Предложенная методика оценки природной энергии лесных экосистем, (составляющей энергетическую природную ренту) позволила рассчитать её по всем районам (рис. 20).

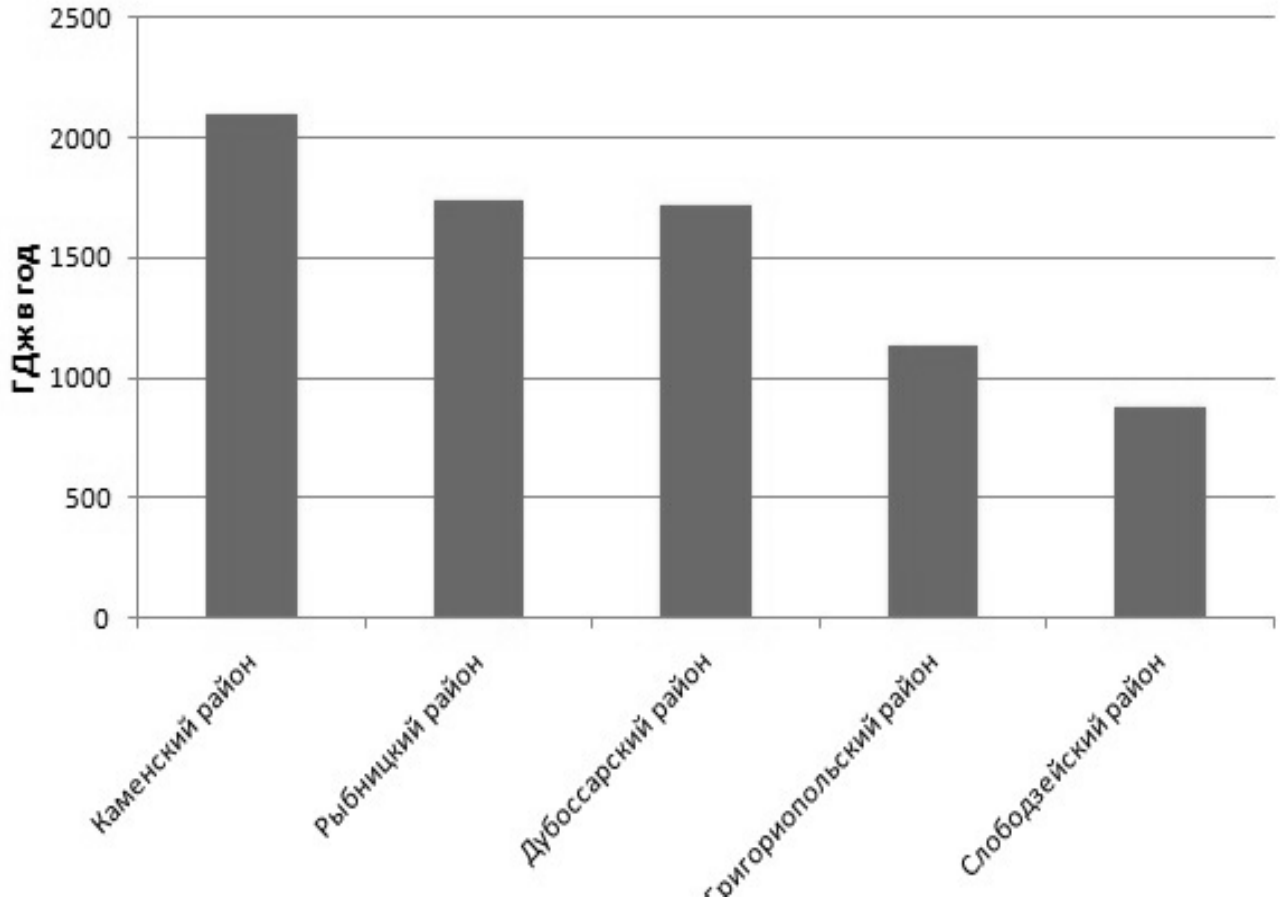

Рисунок 20 – Энергетическая природная рента лесных экосистем по районам Приднестровья, ГДж в год

В расчётах энергии, выпадающей в виде дождя и снега осадки в мм за год, автором использовались средние показатели за последние 10 лет по данным Государственного метеорологического центра Приднестровья (рис. 21).

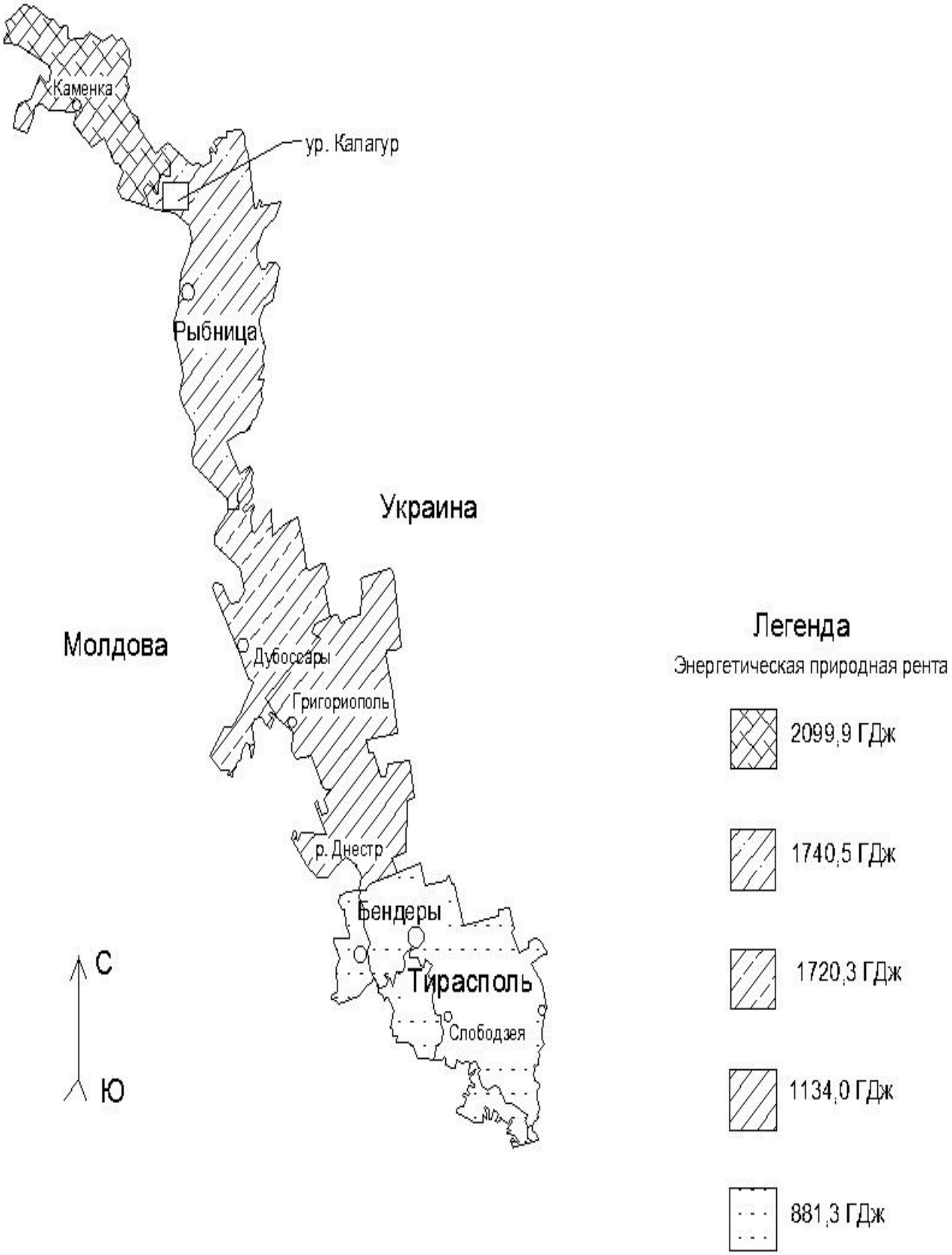

Рисунок 21 – Вариабельность энергетической природной ренты по административным районам Приднестровья, ГДж (составлено автором)

В отличие от расчетов геоэнергетической емкости лесной экосистемы солнечная энергия в расчетах природной ренты не учитывалась. На всей исследуемой территории интенсивность солнечной энергии почти одинакова.

Энергия, выпадающая в виде дождя и снега для повышения геоэнергетического потенциала лесных экосистем имеет особое значение в Приднестровье. Засушливый климат и дефицит водных ресурсов - лимитирующие факторы в развитие леса, поэтому энергетика осадков играет ключевую роль в повышении эффективности использования потенциала энергетической природной ренты.

По расчетным данным (с учетом площади района) наибольшей природной рентой отличается северный Каменский район, а наименьшей южный Слободзейский район, что вполне соответствует традиционным представлениям об их энергетических возможностях.

Анализ рассчитанных данных позволил предположить, что потенциал энергетической природной ренты хотя и определяется в первую очередь энергией Солнца, но эффективность её использования зависит от энергии атмосферных осадков и снега. В южных районах возможно более эффективно использовать потенциал природной энергии для повышения степени самоорганизации лесных экосистем, а в северных – для сохранения тенденции повышения их устойчивости к антропогенным воздействиям.

3.2. Оценки эффективности вариантов восстановления лесных экосистем Приднестровья

Многие годы в Приднестровье традиционно применялся экстенсивный способ оптимизации функционирования лесных экосистем, нарушающий основы рационального природопользования, с применением тяжелой техники и сплошной подготовки почвы. Это было связано с общим антиэкологическим подходом к лесопользованию и с отсутствием современной научной базы на всей

исследуемой территории. Суть традиционного экстенсивного способа заключалась в следующем: создание лесных культур дуба по сплошной лесосечной рубке площади, после корчевка пней с использованием тяжелой техники, вычесывание пней в 2 следа, плантажная вспашка с использованием мощной техники и плантажного плуга, дискование в 2 следа тяжелыми дисками. Высадка посадочного материала (двухлетние саженцы дуба черешчатого) и подвоз, посадка двух летних саженцев производится механизировано, проведение дополнений вручную (в случае выпадов). Проведение 16-ти кратных уходов и прополок в рядах (рис. 22).

Рисунок 22 - Лесные культуры дуба, заложенные в урочище Калагур по варианту № 1 (с уничтожением растительности предшественников)

Для сопоставления экономических показателей проанализирована технологическая карта с расчетами экономических затрат по традиционной технологии лесовосстановления в долларах США (в ценах 2018 г.) (табл. 11).

Таблица 11 – Расчет затрат по варианту № 1 оптимизации функционирования лесных экосистем № 1 [86]

№ п/п	Наименование, выполненных работ	Ед. изм.	Объем	Норма выработки	Затраты, доллар США		
					ГСМ	Зарплата	Всего
1.	Корчевка пней	га	1,0	0,2	150,0	23,1	173,1
2.	Вычесывание пней	га	2,0	0,4	144,0	13,3	157,3
3.	Плантажная вспашка	га	1,0	1,3	80,5	2,1	82,6
4.	Дискование	га	2,0	8,2	12,2	0,1	12,3
5.	Подвозка посадочного материала	–	–	–	–	–	15,0
6.	Механизированная посадка	га	1,0	2,0	11,0	5,12	16,1
7.	Стоимость саженцев	–	–	–	–	–	120,0
8.	Дополнительные работы в ручную	шт.	1200,0	400,0	–	13,5	13,5
9.	16-кратный уход в междурядьях	га	16,0	6,2	88,0	6,9	94,9
10.	Ручная16-кратная прополка в рядах	$м^2$	39,4	550,0	–	276,4	276,4
Итого:		–	–	–	485,7	340,5	961,2

После реализации данного варианта в урочище Калагур была полностью уничтожена предшествующая растительность «материнский субстрат» на срок до 7-ми лет, что негативно влияет на темпы роста новой лесообразующей породы (дуба черешчатого). Таким образом, восстановление дубравы затягивается, качество древостоя резко снижается, а вероятность полного обезлесивания на долгие годы увеличивается.

Кроме того, вариант № 1 сопровождается увеличением продолжительности и объема работ по дополнительным посадкам, при этом возрастает степень антропогенного воздействия на лесную экосистему.

Вариант №2 оптимизации функционирования лесных экосистем без применения раскорчевки и тяжелой техники заключается в закладке культур дуба черешчатого посевом желудей. Максимально используется лесные предшественники среда материнских насаждений и элементы естественного возобновления сопутствующих пород и кустарников с накопление подроста дуба в формируемом фитоценозе. Однако и этот вариант не приводит к удовлетворительным результатам из-за сильной потравки посевов желудей дикими кабанами, расплодившимися здесь из-за отсутствия естественных врагов.

И.И. Маяцкий ведущий лесовод Приднестровья предложил практически наиболее эффективный вариант № 3 оптимизации функционирования лесных экосистем, разработанный им в Республиканском научно-исследовательском институте экологии и природных ресурсов.

В лесном урочище Калагур им впервые была применена следующая технологическая совокупность операций: сплошная лесосечная рубка, маркировка участка (возможно вручную), высадка двухлетних саженцев дуба черешчатого. В условиях ненарушенного материнского почвенно-растительного субстрата приживаемость саженцев повысилась, а выпадения снизились. Природная экосистема (материнский субстрат) во многом способствовали формированию дубравы - будущего лесного массива и всех необходимых для лесообразующей породы элементов. Её приживаемость и рост в конечном итоге определили успех

всей работы по природному прототипу оптимизации функционирования лесной экосистемы.

Таким образом, выращивание дуба в естественных для него условиях с характерными для коренных дубрав сопутствующими древесными породами и кустарниками может быть наиболее эффективным при своевременном проведении рубок с сохранением ненарушенной структуры почвы и материнского растительного субстрата. Вариант с использованием природосообразной технологии И.И. Маяцкого открывает возможности с минимальными затратами восстановить лесную экосистему не уступающую по показателям продуктивности и качества древостоев природной дубравы. Хозяйственно-экономический эффект восстановления дубовых лесов может быть достигнут лишь со всесторонним с учетом геоэкологических условий произрастания исторически сложившихся за весь период их эволюционного развития.

Для более успешного восстановления леса Б.И. Кочуров и Н.А. Марунич [49,79] предложили дополнительные рубки поросли.

В итоге именно вариант № 3 оптимизации функционирования лесной экосистемы оказался экологически наиболее эффективным и менее затратным, при его реализации сохраняется природная основа лесного массива и более быстрыми темпами восстанавливается дубрава с основной лесообразующей – породой дубом черешчатым (рис. 23).

Оптимизация функционирования лесной экосистемы урочища Калагур была направлена на решение целого комплекса геоэкологических и биоэкологических проблем: восстановление ценотического и видового разнообразия Приднестровских дубрав основы оптимизации уникальных Причерноморских ландшафтов лесостепной и степной зонах, сохранение природного базиса социальной сферы и экологизацию экономики этого региона. Фундаментальная многосторонняя значимость проводимых работ, связанных с оптимизацией ландшафта, заключается в гармонизации взаимоотношений человеком со всей остальной природой в конкретных ландшафтно-экологических условиях.

Эффект от внедрения предлагаемого варианта оптимизации функционирования лесных экосистем – не мгновенный, но его проявление не только для Приднестровья, но и для многих других регионов Молдовы, Украины, России по всему ареалу былого распространения дубрав с доминированием дуба черешчатого имеет непреходящее социально-экологическое и экономическое значение; в связи с необходимостью восстановления биологического разнообразия и равновесия в антропогенно-измененных ландшафтах.

Рисунок 23 - Лесные культуры дуба, заложенные в урочище Калагур по варианту № 3 оптимизации функционирования лесной экосистемы

Обсуждая в более широком плане основу технологии лесовосстановления по И.Н. Маяцкому обратимся к наиболее существенным её методологическим принципам [83-86]:

1. Максимальное использование исторически сложившейся лесной среды восстанавливаемого массива древесных насаждений.

2. Использование геоэкологических ниш, образующихся в процессе формирования (естественного изреживания, деградации) или сплошной вырубки лесного массива.

3. Создание новых ниш путем частичной вырубки (изреживание древостоев), прорубка коридоров, частичная обработка почвы и др.).

4. Максимальное использование элементов естественного возобновления сопутствующих древесных и кустарниковых пород.

5. Использование самосева дуба в урожайные годы. Однако за последнее десятилетие урожайность дуба снизилась до минимальных значений целесообразнее наряду с самосевом использовать и двухлетние саженцы дуба черешчатого.

Поэтому сопряженное применение этих принципов превращает вариант № 3 в гарантированно успешный в антропогенно измененных геоэкологических условиях Рыбницкого района Приднестровья (рис. 24).

Из данных принципов лесовосстановления И.Н. Маяцкого следует, что основа успеха в этом процессе - формирование экологических ниш. Даже в результате годичной вырубки все ниши могут быть заняты (момент упущен). То же и в деградирующих насаждениях: образовавшаяся в результате деградации лесного полога ниша быстро занимается далеко не теми видами, которые соответствуют целям лесовосстановления на данном участке, в конкретных лесорастительных условиях, что нередко служит причиной сокращение породного состава и сложения лесной экосистемы и даже полной деградации лесных массивов.

Рисунок 24 – Молодые лесные культуры дуба, заложенные по варианту № 3 оптимизации функционирования лесной экосистемы урочища Калагур

Уникальный гололед осенью 2000 г. усилил процесс исчезновения дуба из древостоя урочища Калагур. Наиболее сильно при этом пострадали дубовые насаждения. Липа в гололедных условиях почти не пострадала, а ясень быстро восстановил крону. Дуб с переломаны скелетными ветвями за счет побегов впоследствии сформировал лишь узкоколонновидную крону. Освободившееся пространство в лесном пологе быстро заняли разросшиеся кроны ясеня и липы. Уменьшилось при этом и плодоношение дуба. В результате для всей поросли в урочище Калагур необходимы систематические операции по восстановлению насаждений с преобладанием дуба [86]. В настоящее время по варианту № 3 дубравы постепенно восстанавливаются.

При расчете ожидаемого хозяйственно-экономического эффекта от внедрения варианта № 3 за эталон достигаемой продуктивности был принят запас

75-летних естественных семенных насаждений дуба (бонитет III). Для контроля запаса и его характеристик принимали фактические данные, полученные при отводах лесосек в 2009 - 2018 гг. соответствующих по возрасту дубовых насаждений в сплошные санитарные и лесовосстановительные рубки. Фактические запасы (данные отводов) существенно отличаются от эталона, что является следствием интенсивных изреживаний при проходных и выборочных санитарных рубках. Эффект оптимизации по предлагаемому варианту заключается не столько в восстановлении продуктивности естественных насаждений, но (главное) – в повышении качества древостоев и увеличении выхода деловой древесины (табл. 12).

Таблица 12 - Хозяйственно-экономический эффект реализации варианта №3 оптимизации функционирования лесных экосистем [86]

Показатели	Насаждения				
	естественное семенное, $м^3$	фактически по данным отводов		проектируемые (ожидаемые)	
		$м^3$	%	$м^3$	%
Запас стволовой древесины, всего:	230,0	124,5	100,0	230,0	100,0
деловой:	–	28,7	23,0	105,8	46,0
крупной;	–	12,7	44,2	37,2	32,3
средней;	–	15,0	52,3	68,9	65,2
мелкой;	–	1,0	3,5	0,3	2,5
дрова	–	95,8	77,0	124,2	54,0

Вариант № 3 оптимизации функционирования лесных экосистем в урочище Калагур является интенсивным. С учетом принципов рационального природопользования, использованием исторически сложившейся лесной среды

материнских насаждений и элементов естественного возобновления, сопутствующих пород и кустарников этот вариант позволит оптимизировать функционирование лесных экосистем региона по природному естественному прототипу и в качестве побочного хозяйственного продукта получать более высокий выход древесины и лесопродукции.

Изложенные выше материалы легли в основу геоэнергетического подхода и методики обоснования наиболее энергоэффективного варианта оптимизации функционирования лесных экосистем в условиях Приднестровья.

Междисциплинарная разработка подхода и методики оценки эффективности восстановления лесных экосистем Приднестровья привели автора к необходимым расчетам геоэнергетических затрат выполнения расчетов геоэнергетических затрат по ранее рассмотренным вариантам лесовосстановления с учетом следующих составляющих:

1) основные средства производства (Приложение 1, рис. 25);
2) оборотные средства производства (Приложение 2);
3) трудовые ресурсы (Приложение 3, табл. 13).

Таблица 13 - Геоэнергетические затраты по вариантам оптимизации функционирования лесных экосистем Приднестровья, МДж/га

Затраты энергии, МДж/га	Варианты оптимизации функционирования лесных экосистем		
	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
Основные средства производства	4468651,79	21211,49	5945,37
Оборотные средства производства	6384,88	881,1	5498,25
Трудовые ресурсы	184,03	246,17	15,45
Итого	4475220,7	22338,76	11459,07

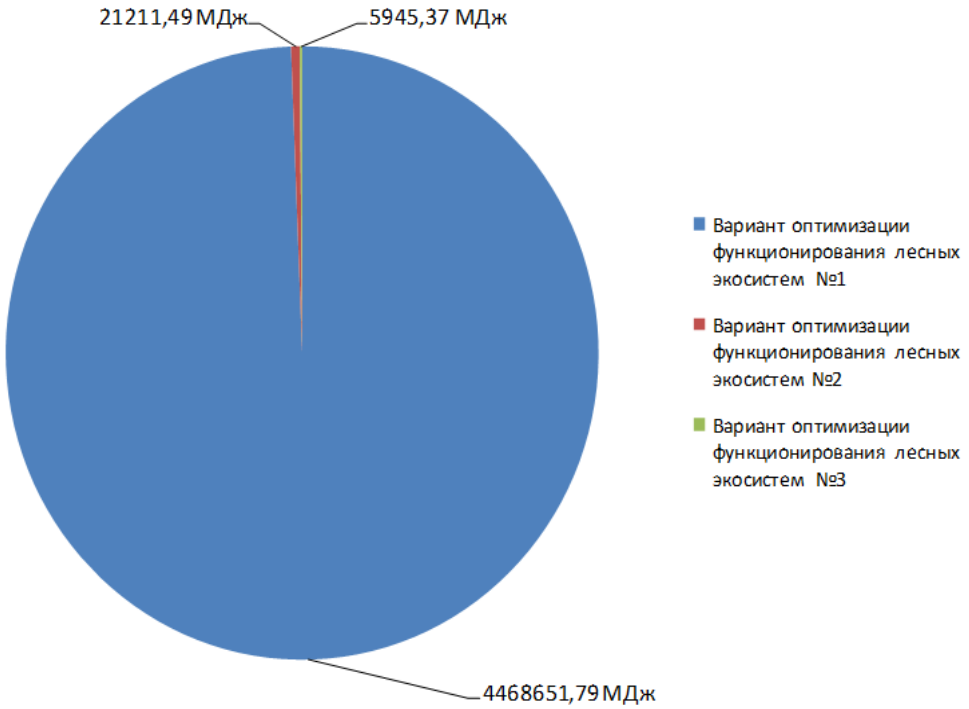

Рисунок 25 - Геоэнергетические затраты по основным средствам производства для различных вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем, МДж/га

Анализ расчетных данных выявил, что геоэнергетические затраты по варианту № 1 отражают высокую степень механизации и интенсификации, но как показывает практика оценки, чем больше затраты антропогенной механизированной энергии, тем хуже ситуация с естественной самоорганизацией экосистемы, ниже её устойчивость и выше разрушительный вещественно-энергетический дисбаланс разнообразия по компонентам экосистемы.

Оптимизационные варианты № 2 и № 3 отличаются низкими затратами энергии на механизацию, а оптимизация лесной экосистемы происходит путем её самовосстановления с некоторым участием антропогенной энергии (рис. 26).

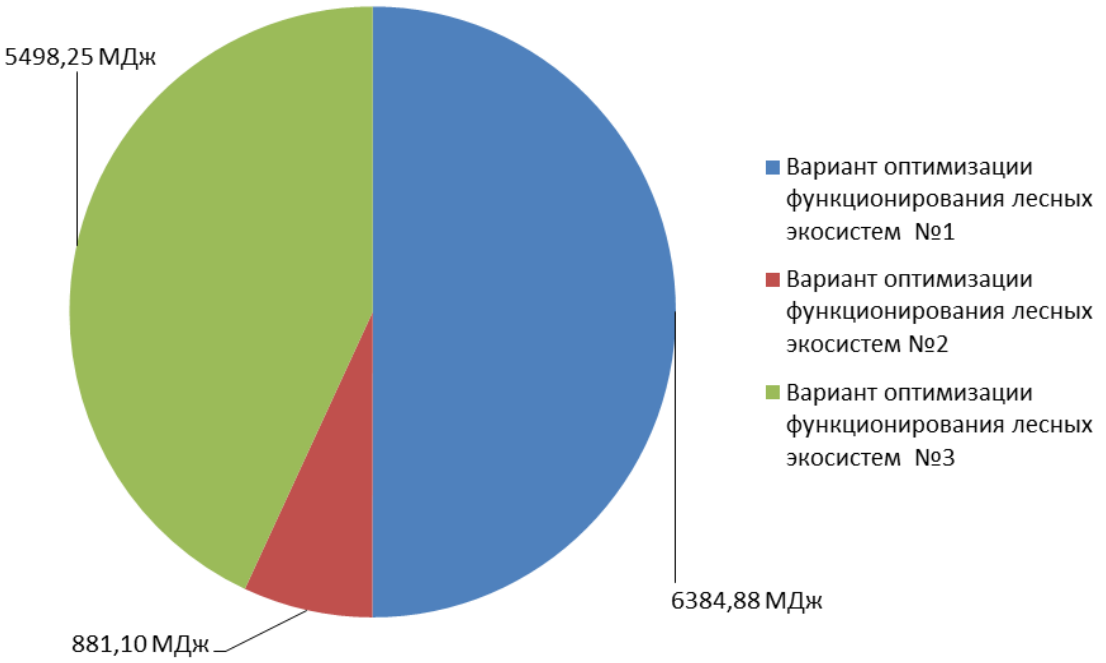

Рисунок 26 - Геоэнергетические затраты по оборотным средствам производства для вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем, МДж/га

Напротив вариант № 1 высоко затратен по оборотным средствам производства на ГСМ, что снижает его экономичность и экологичность.

Вариант оптимизации № 3 (рекомендуемый) также связан с высокими затратами по оборотным средствам, включая использование посадочного материала для закладки питомника (выращивания двухлетних саженцев), однако его преимущества заключаются в низких затратах по трудовым ресурсам за счет посадок лесных культур луба черешчатого двухлетними саженцами (рис. 27).

Не только в урочище Калагур, но и в других лесных экосистемах Приднестровья наблюдается значительный дисбаланс разнообразия отдельных видов животных: у кабанов, мышей, к примеру, нет естественных врагов, что привело к их бесконтрольному размножению и как следствие, к 75%-ному уничтожению лесных культур, заложенных по варианту № 2 (посевом желудей) с использованием субстрата материнских насаждений и элементов естественного

возобновления сопутствующих пород и кустарников. В результате вариант № 2 в условиях региона применения не нашел.

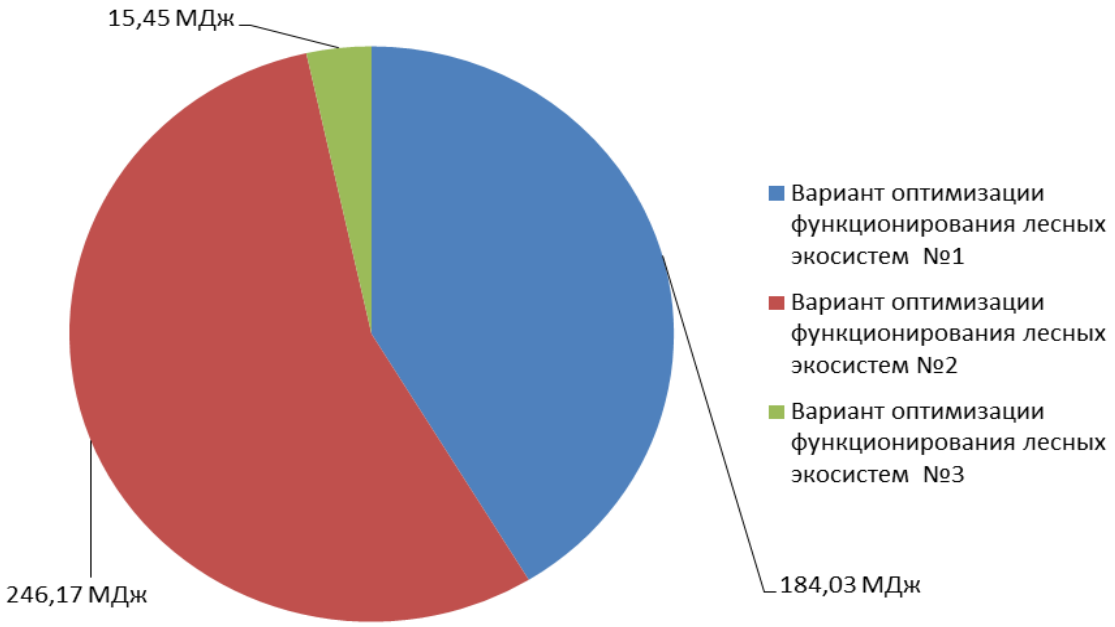

Рисунок 27 - Геоэнергетические затраты по трудовым ресурсам вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем, МДж/га

В связи с этим в лесохозяйственной практике более широко стали реализовываться вариант оптимизации № 3. Как уже отмечалось на начальном этапе закладка культур по сплошной лесосечной вырубке происходит не посевом желудей, а посадкой двух летних саженцев, выращиваемых в условиях лесопитомника.

Кроме того, что реализация вариантов № 2 и № 3 менее энергозатратна, при этом незначительно нарушается естественная материнская почвенно-растительная основа, антропогенное воздействие сведено к минимуму (рис. 28).

В конечном счете, в практике лесного хозяйства Приднестровья оптимизационный вариант был признан наиболее эффективным не только в отношении геоэкономических (геоэнергетических) показателей, но и с геоэкологических позиций с учетом минимизации вмешательства человека в

лесовосстановление и создания биоэкологических характеристик (биоразнообразие и структура экосистемы).

Рисунок 28 - Геоэнергетические затраты по вариантам оптимизации функционирования лесных экосистем, МДж/га

В расчетах ожидаемого хозяйственного-экономического эффекта от внедрения вариантов № 2 и № 3, за эталон достигаемой продуктивности насаждений был принят запас 75-летних естественных семенных насаждения дуба, III бонитета из лесоустроительных материалов Министерства сельского хозяйства и природных ресурсов Приднестровья (табл. 14).

Для оценки варианта № 1 были использованы фактические данные, полученные при отводах лесосек соответствующих по возрасту дубовых насаждений в сплошные санитарные и лесовосстановительные рубки по лесхозу.

В расчетах учитывались показатели средней плотности преобладающей древесной породы и удельной теплоты сгорания 1 м^3 древесины дуба черешчатого.

Таблица 14 – Рассчитанные значения продуктивность лесных по существующим вариантам оптимизации функционирования лесных экосистем, МДж/га

Варианты оптимизации функционирования лесных экосистем		
Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
1447312,5	2673750,0	2673750,0

Сопоставив рассчитанные значения убедились, что наибольшая продуктивность лесных насаждений достигается по вариантам № 2 и № 3, в связи с максимальным использования возможностей природной экосистемы, эколого-биологических особенностей дуба черешчатого (рис. 29).

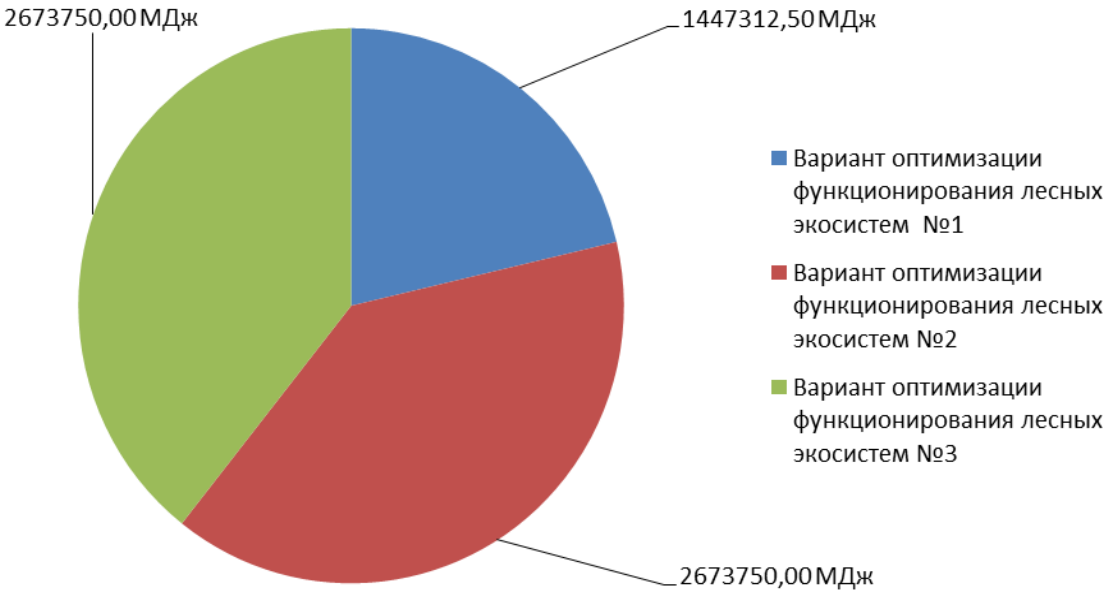

Рисунок 29 - Соотношение рассчитанных значений продуктивности лесных насаждений по вариантам оптимизации функционирования лесных экосистем, МДж/га

Анализ значений продуктивности лесных насаждений в зависимости от применяемых вариантов оптимизации позволил по формуле энергоемкости

рассчитать также энергоемкость оптимизации функционирования лесных экосистем (табл. 15).

Таблица 15 - Энергоемкость функционирования лесных экосистем по вариантам оптимизации

	Варианты оптимизации функционирования лесных экосистем		
	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
Энергоемкость	3,09	0,008	0,004

Как ожидалось наименее энергоемки варианты оптимизации № 2 и № 3, они значительно меньше нарушают естественный материнский субстрат лесного насаждения степень механизации при их реализации минимальна, как и воздействие человека. Это позволяет считать их вариантами оптимизации функционирования лесных экосистем, не нарушающих естественного сложения лесного почвенно-растительного субстрата (рис. 30).

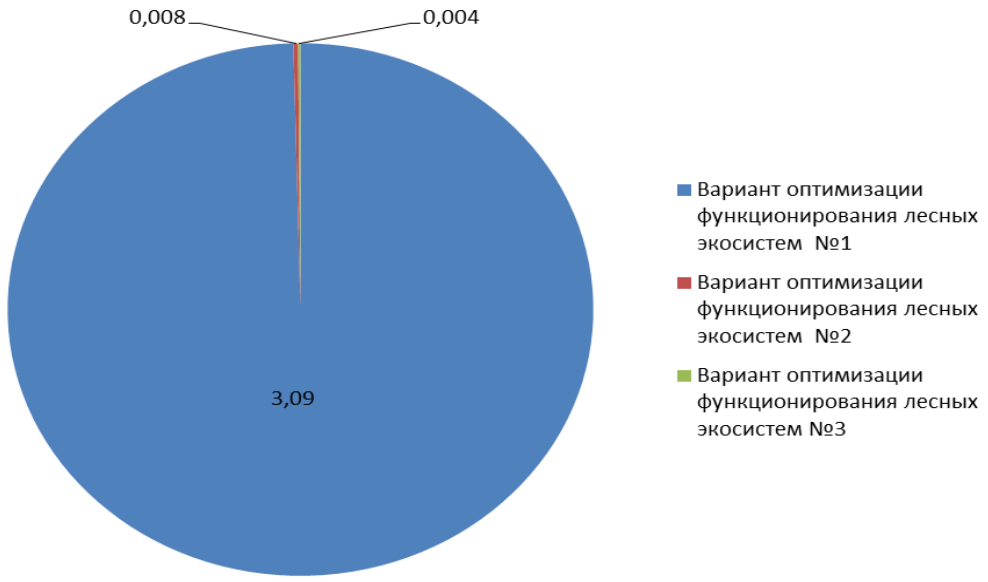

Рисунок 30 - Соотношение рассчитанных значений энергоемкости по вариантам оптимизации функционирования лесных экосистем

В сложившихся к настоящему времени условиях в урочище Калагур и в других лесных экосистемах Приднестровья оптимизация функционирования лесных экосистем по варианту №3 наиболее эффективна с эколого-экономической позиции. Этот вариант наглядно демонстрирует возможность сопряженного решения хозяйственной задачи лесовосстановления с сохранением и развитием потенциальных возможностей экосистемы (лесного биогеоценоза) Приднестровья (рис. 31).

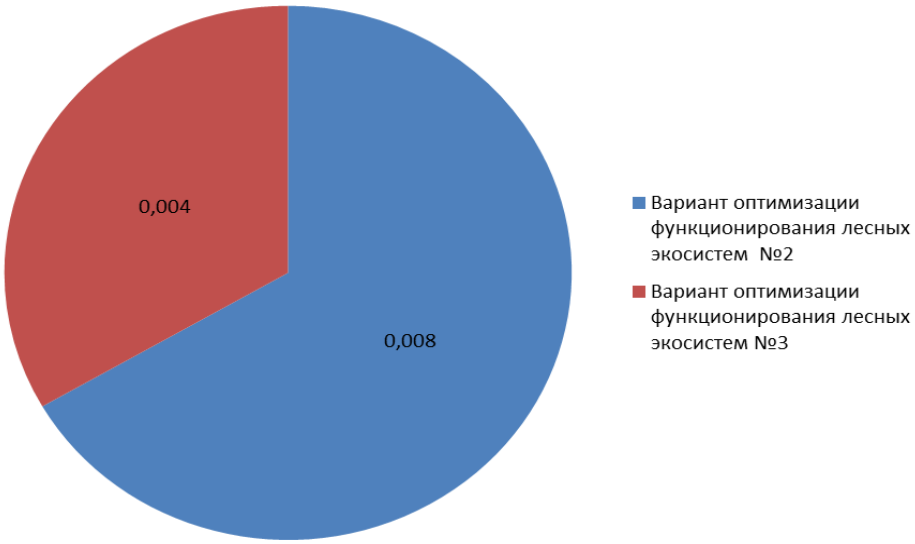

Рисунок 31 - Соотношение рассчитанных значений энергоемкости по вариантам оптимизации функционирования лесных экосистем

При практической реализации варианта №3 оптимизации функционирования лесной экосистемы эффективность использования природной энергетической ренты лесной экосистемы урочища Калагур существенно возрастет и составит:

$$e_R = 19{,}7\times10^{13}\ \text{Дж} / 10{,}7\times10^{13}\ \text{Дж} = 1{,}84$$

Доля антропогенной энергии при этом существенно снизится за счет потенциала энергетической природной ренты и составит:

$$D_A = 11459{,}07\times10^{6}\ \text{Дж} / 4475220{,}7\times10^{6}\ \text{Дж} = 0{,}002$$

При расчете планируемого энергопотенциала было учтено, что Министерство сельского хозяйства и природных ресурсов Приднестровья считает целесообразным спелые и перестойные лесные общей площади земель лесного фонда 19% заменить их на высоко продуктивные с преобладанием дуба черешчатого и акации белой (23% насаждений) малоценного вида, но обладающего высокими темпами роста.

Допустимо предположить, что в перспективе доля дуба в лесопосадках увеличится на 20%, если учесть рассчитанные значения роста продуктивности насаждений дуба черешчатого по предлагаемому варианту (табл. 16).

Таблица 16 – Рассчитанные значения энергопотенциала лесных экосистем по административным районам Приднестровья вариант оптимизации № 3, ТДж

Каменский	Рыбницкий	Дубоссарский	Григориопольский	Слободзейский
13292,5	10998,8	7070,7	6075,8	3928,0

Высокий и прогнозируемый потенциал роста энергии, содержащейся в биомассе лесной экосистемы, в случае существенного увеличения доли дуба черешчатого в лесных насаждениях Приднестровья (рис. 32 и 33).

Оптимизация функционирования лесных экосистем по варианту № 3 приведет лесную экосистему к большей устойчивости, долговечности и стабильности в отношении сохранения биоразнообразия её флоры и фауны, объектов природного и историко-культурного наследия, развития новых направлений рекреационного природопользования (экотуризм, оздоровительный, научный туризм и др.).

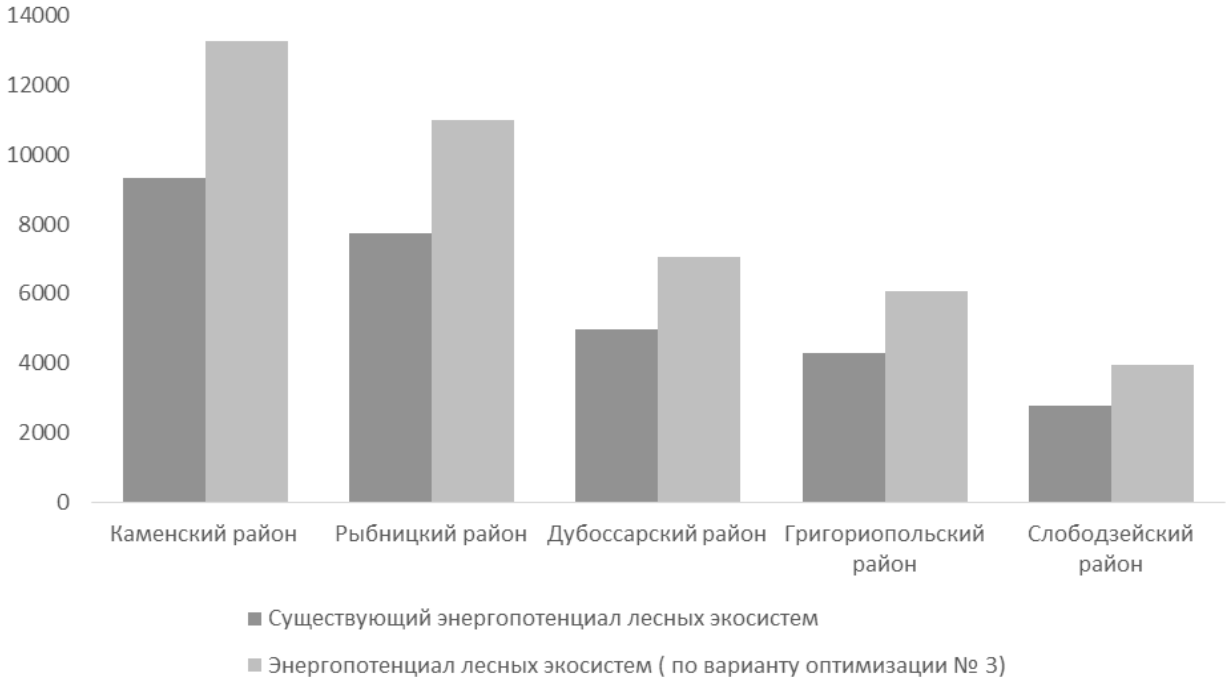

Рисунок 32 - Порайонные различия существующих и прогнозируемых энергопотенциалов лесных экосистем Приднестровья, ТДж

Анализ пространственной типологии энергопотенциала лесных экосистем позволил выделить три потенциальных стратегии развития геоэнергетики в условиях Приднестровья:

1) на базе оптимизации функционирования лесных экосистем с энергопотенциалом свыше 10000 ТДж;

2) на базе лесных экосистем с энергопотенциалом от 6000 до 7000 ТДж;

3) на базе лесных экосистем с энергопотенциалом менее 4000 ТДж;

Первая, из этих стратегий реализуемая в степных Григориопольском и Слободзейском районах здесь достаточно велика доля земель (неудобий) непригодных для сельского хозяйства, но с определенным потенциалом расширения площади дубовых насаждений, а в результате, увеличения извлекаемой энергии, содержащейся в биомассе лесной экосистемы, повышения геоэкологической стабильности сельских районов Приднестровья, возможного

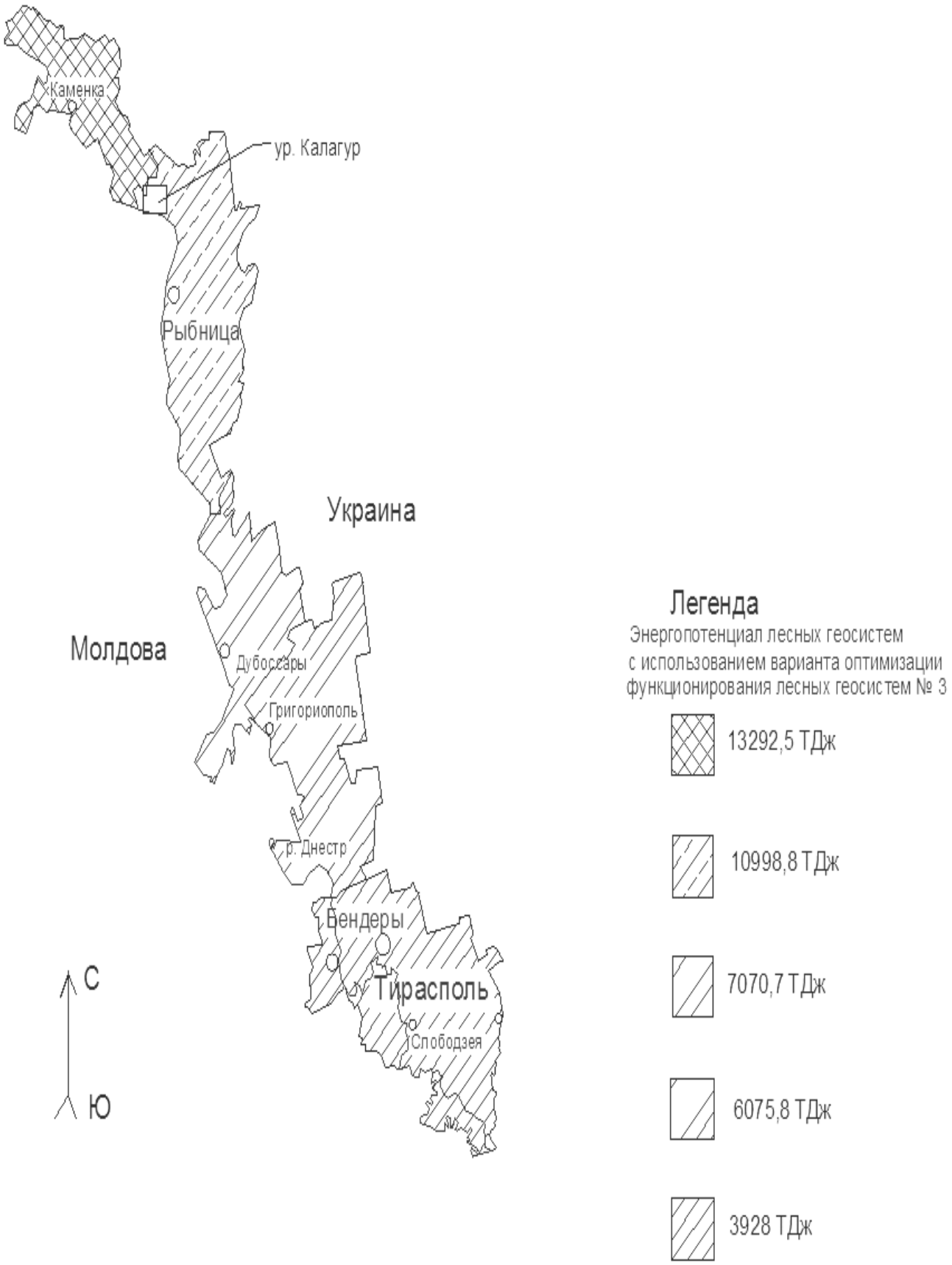

Рисунок 33 – Пространственная типология энергопотенциала лесных экосистем по варианту оптимизации №3, ТДж

изменения соотношения лесопокрытых земель и земель сельскохозяйственного назначения в сторону увеличения первых.

Применение варианта оптимизации № 3 в заповеднике Ягорлык Дубоссарского района целесообразно для восстановления дубрав естественного типа, что существенно увеличит геоэнергетический потенциал заповедной территории. Во взятых под особую охрану урочищах-заказниках устойчивость созданных лесных культур дуба будет значительно выше.

Важно распространить положительный опыт реализации варианта № 3 на территории активно деградирующих ассоциаций дуба в урочище Марьина Роща Дубоссарского района; урочище Деменчак Григориопольского района для повышения геоэнергетического потенциала и ликвидации кризисных ситуаций, связанных с исчезновением дуба в лесных экосистемах.

В урочище Градешты Кицканского района, наиболее подверженном антропогенному воздействию трансформированных ландшафтов сельскохозяйственным производством позволит лесовосстановление по варианту №3: увеличить геоэнергетический потенциал деградирующих лесных экосистем повысить их устойчивость к чрезмерным антропогенным нагрузкам.

3.3. Система автоматизации геоэнергетической оценки лесных экосистем

При геоэнергетической оценке с учетом природной и социально-экономической составляющих лесной экосистемы оценивались потоки вещества, энергии и информации. Разработанная автором система автоматизации геоэнергетической оценки лесных экосистем является частью её программного обеспечения, которое удовлетворяет следующим основным базовым принципам:

1. Высокая функциональность в отношении решаемой проблемы;

2. Узкая специализация и высокая эффективность использования программного продукта;

3. Интуитивно понятный, максимально простой интерфейс;

4. Льготное либо бесплатное распространение;

5. Простой и понятный алгоритм, ведущий к формированию универсального кода, позволяющего реализовать поставленную задачу на любом языке программирования;

6. Универсальность, которая позволяет реализовать программу на любой аппаратной платформе и/или предоставит возможность работать с любой из популярных операционных систем.

Автоматизированная информационная система написана на языке программирования Basic в среде объектно-ориентированного программирования Visual Basic 6.0.

Информационная система включает в себя следующие элементы:

Авторизация пользователя (рис. 34).

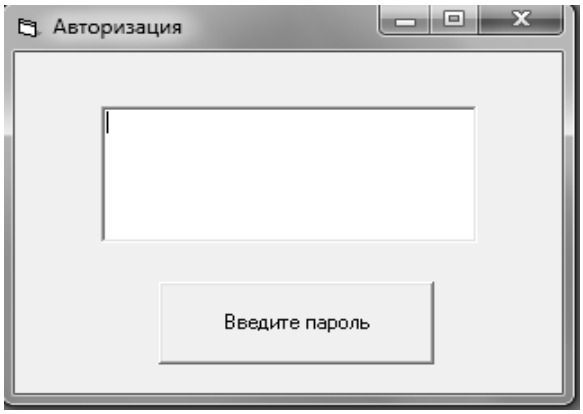

Рисунок 34 - Форма авторизации пользователя информационной системы

После авторизации открывается доступ к главной форме, для выбора типа геоэнергетического расчета по вариантам оптимизации функционирования лесной экосистемы (рис. 35).

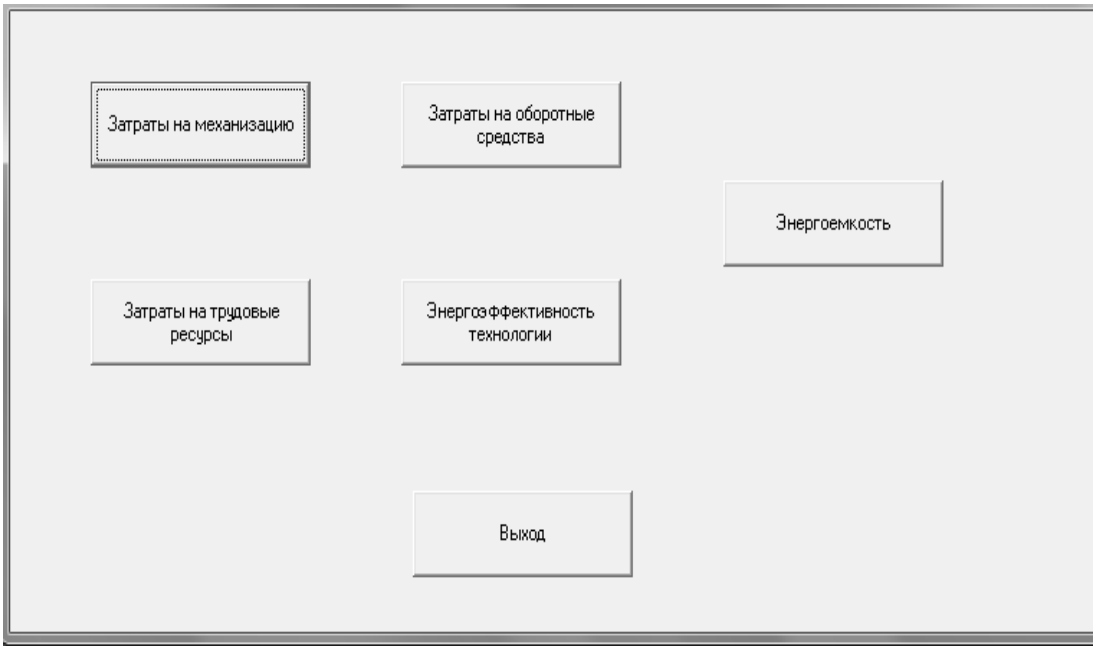

Рисунок 35 - Главная форма информационной системы

Пример расчета геоэнергетических затрат на агрегат (трактор К-700), используемый в традиционном энергозатратном варианте №1 оптимизации функционирования лесной экосистемы (рис. 36).

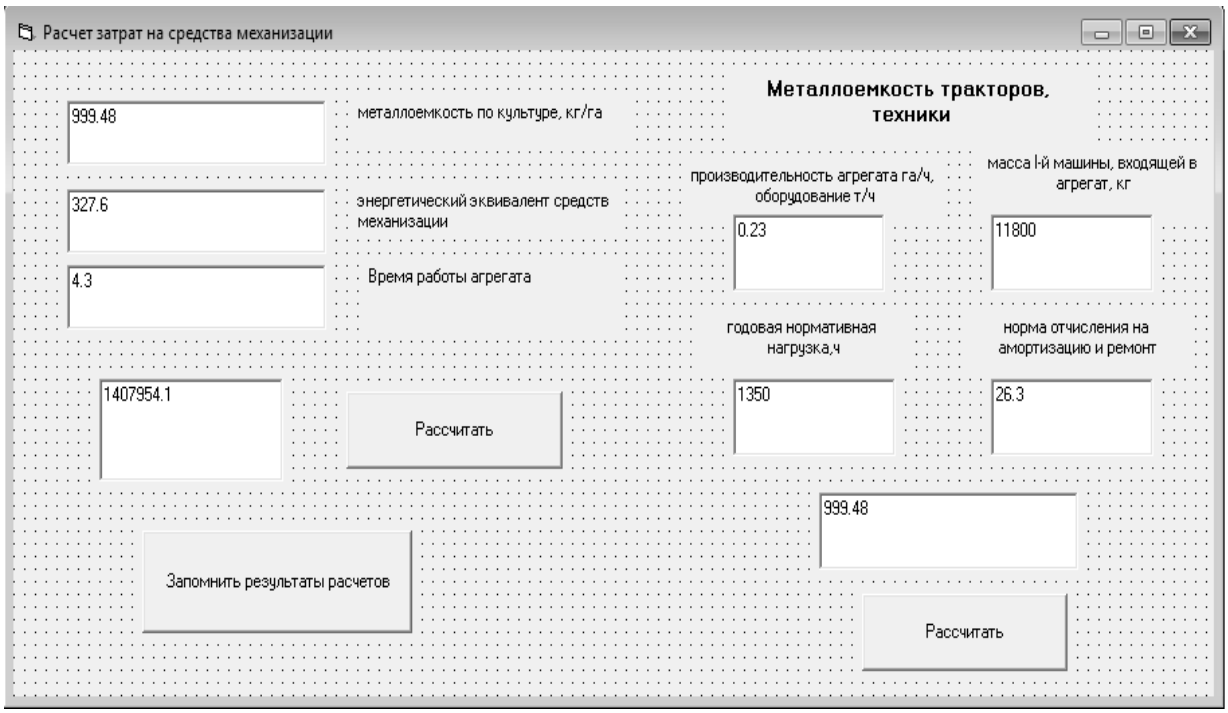

Рисунок 36 - Форма расчета затрат на средства механизации по вариантам оптимизации функционирования лесной экосистемы

Расчет затрат производства производится на форме варианта оптимизации функционирования лесных экосистем по оборотным средствам производства (рис. 37).

Рисунок 37 - Форма расчета геоэнергетических затрат на оборотные средства производства

Разработанная авторская информационная система существенно упрощает расчеты по геоэнергетической оценке эффективности функционирования лесных экосистем и позволяет сделать её более популярной и применимой в практике лесного хозяйства.

Информационная система позволяет проводить расчеты по трудовым ресурсам вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем и общим затратам энергии.

Автором также разработано и применялось программное обеспечение для оценки экологической емкости лесных экосистем Приднестровья. Создана информационная система, позволяющая выполнять расчеты по основным этапам геоэнергетической оценки емкости лесной экосистемы. Алгоритм информационных систем универсален, легко реализуется на основных

популярных языках программирования Basic, Object Pascal и в средах разработки приложений Visual Basic 6.0, Delphi 7.

Реализация информационной системы по расчету экологической емкости в геоэнергетических показателях осуществлялась на языке программирования Object Pascal в среде разработки Delphi 7 (рис. 38).

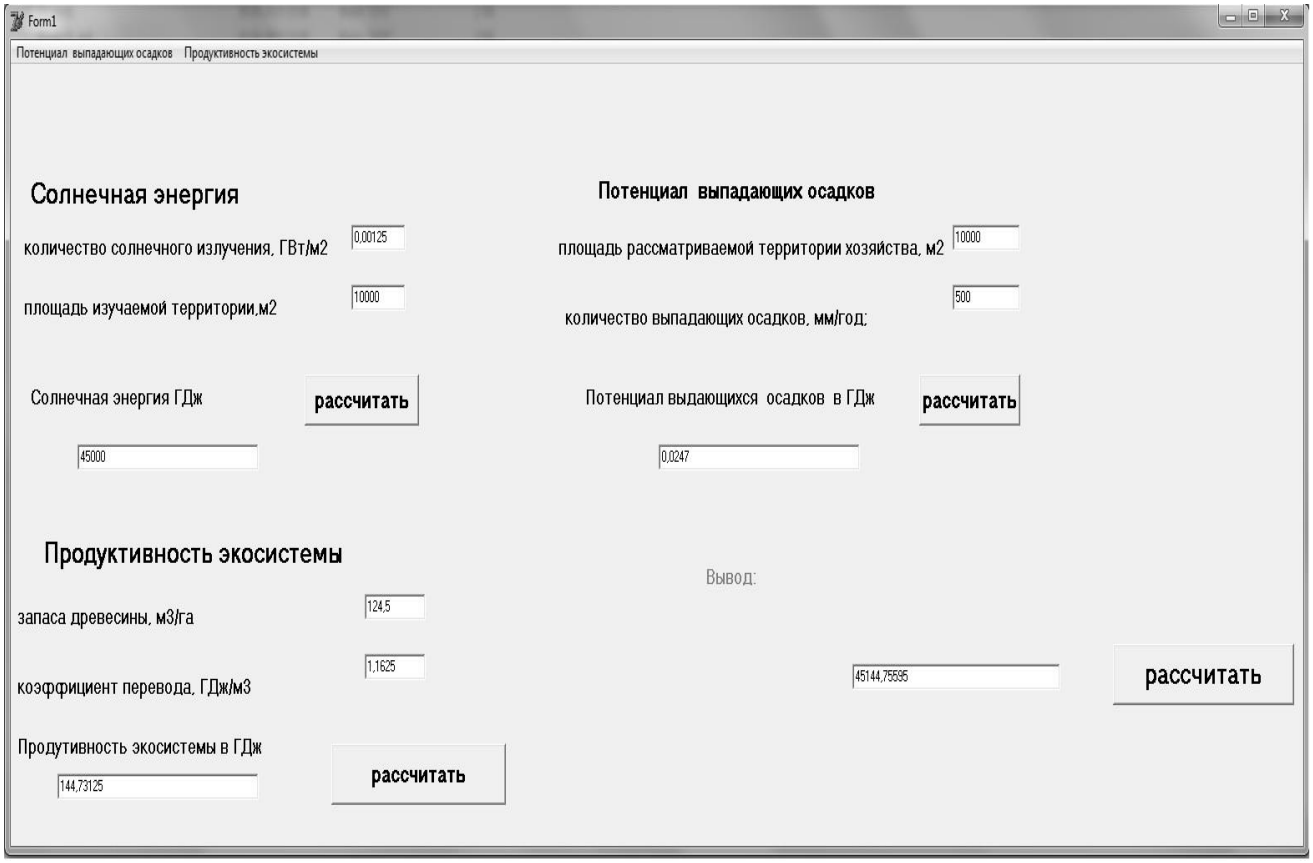

Рисунок 38 - Форма расчета энергетической емкости лесной экосистемы, выполненная в среде разработки Delphi 7

Представлен пример формы информационной системы по расчету энергетической емкости лесной экосистемы в единых геоэнергетических единицах - джоулях. Данная часть автоматизации расчета учитывает приход солнечной энергии с учетом площади изучаемой территории, потенциал выпадающих осадков и продуктивность лесной экосистемы с преобладающей древесной породой в лесном массиве. Простота интерфейса не требует дополнительной информации для использования программного продукта в

практике применения геоэнергетического подхода для оценки энергетической емкости лесной экосистемы.

Части информационной системы составляют единое целое в обработке данных по методике геоэнергетического подхода.

3.4. Энергоэффективная схема оптимизации лесовосстановления

Существующие методы и способы организации деятельности лесохозяйственных предприятий приводят в процессе их практического применения к истощительному природопользованию обездубливанию лесных насаждений и разрушению природной структуры экосистем. В лесных хозяйствах Приднестровья отсутствуют системообразующие элементы, предусматривающие единый энергоэффективный и экологически оправданный метод управления лесопользованием и оптимизацией лесовосстановления.

Введение в состав лесного хозяйства принципиальной схемы оптимизации лесовосстановления с использованием наиболее эффективного варианта оптимизации предполагает определение целевых функций, направленных на совмещение экологических и социально-экономических интересов отрасли, а также принципиальное изменение цели развития, направленного на сбалансированное функционирование лесных экосистем по природному типу. В современных вариантах организационной структуры лесных предприятий формирование цели практически полностью определяется их интересами собственников и рынком, тогда как в предлагаемом механизме необходимо учитывать принципы функционирования и развития лесной экосистемы по природному типу, то есть учитывать геоэкологическую составляющую. Экологизация производства в лесной экосистеме состоит в том, чтобы ее структура (с преобладанием дуба черешчатого) не только не деградировала, но дабы процесс её функционирования достиг сбалансированного состояния.

Предлагается принципиальная схема оптимизации лесовосстановления в условиях Приднестровья:

1) повсеместное использование предложенного наиболее эффективного геоэнергетически варианта № 3 оптимизации функционирования лесной экосистемы;

2) поддержание и оптимизация функционирования лесных экосистем на землях Приднестровья с расширением площади дубрав;

3) качественное изменение видового состава древостоев, повышение доли дубовых насаждений в процессе лесовосстановления в районах с различным энергопотенциалом лесных экосистем;

4) автоматизированная оценка результатов мониторинга состояния дубрав и воссоздаваемых лесных массивов;

5) постепенный переход лесохозяйственных предприятий Приднестровья на природосообразные лесовосстанавливающие технологии.

Прогнозируемое состояние лесной экосистемы – это уровень, который по истечении определенного интервала времени (60 - 70 лет) она может достичь по количеству и качеству выполняемых средообразующих и природоохранных функций стабилизирующих геоэкологическую ситуацию, а также количеству и качеству выпускаемой лесопродукции, по конфигурации функциональных связей, количеству и формам потребляемых источников энергии (уменьшение доли антропогенной энергии и увеличение доли природной энергетической ренты). В прогнозируемом состоянии лесной экосистемы учитываются площади лесных земель нуждающихся в оптимизации функционирования и реконструкции, количество работников занятых в лесном производстве, экологическое и социальное положение района и региона.

В соответствии с предлагаемой принципиальной схемой оптимизации лесовосстановления Приднестровья предполагает:

1) нормативно повысить статус лесной экосистемы которая не рассматривается как сугубо экономический объект и должна быть переведена в категорию эколого-экономических систем;

2) качественно изменить выходные характеристики лесной экосистемы: кроме экономической эффективности лесохозяйственного производства следует ввести экосистемные показатели устойчивости и продуктивности лесов с учетом сохранения их биологического разнообразия;

3) перспективно рассматривать лесохозяйственные предприятия, как социально значимые и поддерживаемые государственным регулятором природно-техногенные системы с периодической оценкой затрат энергии на оптимизацию лесовосстановления.

Для более гармоничного сокращения доли антропогенной энергии в функционировании лесных экосистем (уменьшения затрат на их реконструкцию) и повышения уровня самоорганизации в их функционировании принципиальной схемой на основе выполненного исследования оптимизации лесовосстановления предполагается осуществления следующего комплекса мер.

В условиях усиления негативного антропогенного воздействия на леса Приднестровья для снижения потребности во внешних энергоресурсах (как правило, антропогенных) и усиления самоорганизации лесной экосистемы наиболее целесообразно более широко реализовывать вариант оптимизации № 3, максимально встроенный и обоснованный практическим опытом материнскую лесную экосистему, использующий природную энергию Солнца и атмосферных осадков и совокупность правил проведения рубок ухода. Реализация геоэнергетического подхода позволит в конечном счете увеличить энергопотенциал лесной экосистемы, увеличить производительность и качество лесов в Приднестровье и увеличить продуктивность лесохозяйственных предприятий в этом уникальном по многим основаниям Причерноморском регионе.

Выводы по третьей главе. Расчет основных геоэнергетических параметров лесной экосистемы в условиях урочища Калагур в джоулях с учетом солнечной энергии на 1 га в год, энергии выпадающих осадков и энергопотенциала экосистемы выявил, что основной вклад в геоэнергетическую емкость - $45{,}14\times10^{12}$ Дж/год на 1 га леса. По сравнению с ним потенциал выпадающих осадков 2,47

$\times 10^7$ минимален, однако его значением невозможно пренебречь в условиях засушливого климата, как определяющего ежегодные приросты лесной фитомассы.

В пространственном распределении энергопотенциала основных групп лесообразующих пород Приднестровья выявлено закономерное снижение его от 9344 ТДж в Каменском лесорастительном округе до 2760 ТДж в Кучурганской типчаково-ковыльной степи. Подобным образом изменяются значения рассчитанной природной ренты лесовосстановления в разных районах региона без учета солнечной энергии (практически неизменной).

Сравнительный анализ трех вариантов лесовосстановления и оптимизации функционирования лесных экосистем с применением тяжелой техники и других средств механизации и без них выявил перспективность технологии разработанной И.Н. Маяцким в Республиканском НИИ экологии и природных ресурсов с учетом предложений автора (совместно с Б.И. Кочуровым) об использовании двухлетних саженцев дуба и потенциала исторически сложившегося материнского субстрата (почвенно-растительной подсистемы). По соотношению рассчитанных значений продуктивности лесных экосистем и их энергоемкости предлагаемый вариант № 3 наиболее эффективен не только для решения хозяйственной задачи, но и сохранения потенциальных возможностей лесного геобиоценоза.

Принципиальная схема оптимизации лесовосстановления предусматривает повышение статуса лесохозяйственного комплекса до категории самоокупаемой эколого-экономической системы, как социально значимой и поддерживаемой государством по затратам энергии на оптимизацию лесовосстановления.

Разработанная автором система автоматизации геоэнергетической оценки лесных экосистем Приднестровья – важная часть её программного обеспечения запатентованная в виде двух программ для ЭВМ зарегистрировано в Государственном реестре Министерства юстиции Приднестровской Молдавской Республики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная цель диссертационного исследования состояла в разработке геоэнергетического подхода и оценке эффективности функционирования лесных экосистем Приднестровья, и их восстановления на основе неистощительного лесопользования.

1. Проведенные исследования дают основания для выводов об экологическом дисбалансе лесопользования в Приднестровской Молдавской Республике. Суммарная антропогенная нагрузка на лесные экосистемы, напряженность эколого-хозяйственного состояния лесного комплекса (ЭХС) оцениваются как очень высокие. Показатели естественной защищенности земельного фонда свидетельствуют о критическом уровне. Коэффициенты абсолютной и относительной напряженности землепользования достигают 54,3 и 5,1 соответственно. При оптимальном показателе равном 1,0.

2. Дисбаланс в лесопользовании Приднестровья обостряет здесь критическую и напряженную геоэкологическую ситуацию. Необходимо перераспределение земельных ресурсов с увеличением площади лесных насаждений (до 15-16% лесистости). Несмотря на то, что все леса Приднестровья относятся к природоохранным повсеместно наблюдается выпадение основных лесообразующих пород и разрушение естественного состояния лесных экосистем.

3. Для восстановления лесных экосистем и перехода к более рациональному лесопользованию предлагается геоэнергетический подход в котором в качестве универсального и объективного показателя лесных экосистем используется величина энергии (в джоулях). Этот подход позволяет методически обосновать и определить пути экологизации лесопользования со значительным снижением доли антропогенной энергии в функционировании лесных экосистем и ростом их энергопотенциала.

4. Разработанная на примере дубравы в урочище Калагур Рыбницкого района методика геоэнергетической оценки эффективности функционирования лесной экосистемы включает ряд последовательных процедур: геоэнергетическая

оценка емкости лесной экосистемы, определение величины природной энергетической ренты, расчет основных геоэнергетических показателей энергии Солнца, атмосферных осадков, биомассы, общая характеристика природных условий; оценка состояния лесных экосистем; эколого-географический и сравнительно географический анализы изучаемой территории; картографическая визуализация; пространственная типологизация; сравнительная оценка вариантов оптимизации лесной экосистемы, создание геоинформационной системы, разработка энергоэффективной схемы лесовосстановления. Выявлено, что наибольший энергопотенциал присущ лесным экосистемам на севере Приднестровья в Каменском районе - 9344,5 ТДж; Рыбницком - 7728,5 ТДж; Дубоссарском - 4968,3 ТДж; Григориопольском районе – 4267,7 ТДж; Слободзейском районе – 2759,8 ТДж. Самым небольшим энергопотенциалом обладают лесные экосистемы на юге в степных условиях республики в Григориопольском и Слободзейском районах, что вызвано сильным антропогенным воздействием и невысоким биоразнообразием и снижением доли дуба в лесных насаждениях.

5. Предлагаемый вариант оптимизации функционирования лесных экосистем на основе природосообразной технологии лесовосстановления, успешно апробированной в урочище Калагур, в максимальной степени уменьшает долю использования антропогенной энергии D_A = 0,002 (в основном, степени механизации). Природная экосистема сама формирует будущую дубраву со всеми необходимыми компонентами. Планируемая там продуктивность экосистемы при этом может повысить геоэнергетическую эффективность до 2,662 ТДж на 1 га.

6. Разработана специальная автоматизированная информационная система программного обеспечения реализации геоэнергетического подхода к оценке восстановления экосистем и ландшафтов, позволяющая оптимизировать их по природному типу с доминированием дуба черешчатого – основного эдификатора лесных ландшафтов Приднестровья).

7. Разработана схема оптимизации лесовосстановления в условиях Приднестровья, которая предусматривает: 1) повышение статуса

лесохозяйственного комплекса до категории эколого-экономической системы; 2) введение показателей устойчивости и продуктивности лесной экосистемы (по варианту № 3), с учетом биологического разнообразия; 3) лесохозяйственные предприятия следует рассматривать, как социально значимые и поддерживаемые государственным регулированием по затратам энергии на оптимизацию лесовосстановления.

Это позволит значительно увеличить не только в Приднестровье, но и в сопредельных регионах России указанный энергопотенциал, продуктивность и качество лесных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекперов В. Ю. Нефть и патриотизм / В. Ю. Алекперов // Российская газета. – 2013. – № 5998 (22).

2. Алентьев П. Н. Исследование культур дуба в Шиповом лесу / Алентьев П. Н. // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 270 – 279.

3. Андреев А. В. Концепция экологической сети «Нижний Днестр» / А. В. Андреев, П. Н. Горбуненко // Сохранение биоразнообразия бассейна Днестра. – 1999. – С. 12 – 14.

4. Андреев А. В. Зоологические требования к лесным полосам и другим биоценотическим оазисам / А. В. Андреев, Н. И. Зубков, Н. Д. Корчмарь // Тез. докл. на Республик. конф. Экологические основы охраны и воспроизводства лесных ресурсов Молдавии. – 1989. – С. 112 – 116.

5. Андреев В. Н. Деревья и кустарники Молдавии / В. Н. Андреев. - М.: Изд. АН СССР, 1957. – 207 с.

6. Атлас Молдавской ССР. Москва: Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1990. – 47 с.

7. Атлас Приднестровья. Тирасполь: Изд-во Приднестровского государственного университета, 2007. – 63 с.

8. Арманд А. Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем / А. Д. Арманд. - М.: Наука, 1988. – 261 с.

9. Барановский И. Д. Создание лесных культур на нераскорчеванных лесосеках в дубравах Скрипаевского учебно-опытного лесхоза / И. Д. Барановский // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 300 – 308.

10. Белицкая О. Н. Позвоночные животные лесоаграрных ландшафтов и пути регулирования их состава и численности / О. Н. Белицкая // Экология лесоаграрного ландшафта. – 1986. – С. 74 – 83.

11. Бобраков Л. Н. Итоги опытов по рубкам ухода в Тростянецких дубравах / Л. Н. Бобраков // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 206 – 211.

12. Бурлаков Г. Г. Чересполосная рубка в дубовых насаждениях / Г. Г. Бурлаков //Лесной журнал. – 1906. – Вып. 9 – 10. – С. 10 – 13.

13. Бяллович Ю. П. Метод фитомелиорации / Ю. П. Бяллович // УкрНИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации. – 1947. – С. 105 – 148.

14. Вернадский В.И. Биогеохимические очерки / В.И. Вернадский - М.; Л.: Изд-во: АН СССР, 1940. - 250 с.

15. Ганя И. М. Значение лесных полос как резерватов полезной фауны / И. М. Ганя, А. И. Мунтяну, В. Г. Остафийчук // Известия АН МССР. – 1983. – № 4. – С. 43 – 46.

16. Ганя И. М. Значение биоценотических оазисов в обогащении орнитофауны агроценозов / И. М. Ганя, Н. И. Зубков // Тез. докл. на Республик. конф. «Экологические основы охраны и воспроизводства лесных ресурсов Молдавии». – 1989. – С. 116 – 119.

17. Гейдеман Т. С. К вопросу о геоботаническом районировании Молдавской ССР / Т. С. Гейдеман // Известия АН МССР. – 1964. – № 3.

18. Гейдеман Т. С. Ксероморфные дубравы гырнецов южной части Молдавской ССР / Т. С. Гейдеман // Учен. записки Молдавской базы АН СССР. – 1949. – №2. – С. 27 – 31.

19. Гейдеман Т. С. Дубравы из дуба пушистого в Молдавии / Т. С. Гейдеман // Гербовецкий лес. – 1970. – С. 49 – 59.

20. Гейдеман Т. С. Типы леса и лесные ассоциации Молдавии / Т. С. Гейдеман, Б. Ф. Остапенко, Л. П. Николаева – Кишинев: Картя Молдовеняскэ 1964. – 268 с.

21. Гейдеман Т. С. Леса Молдавии: охрана и воспроизводство / Т. С. Гейдеман, Т. Н. Голенко, И. Н. Маяцкий, Л. П. Николаева // Коммунист Молдавии.– 1984. – № 12. – С. 50 – 55.

22. Генсирук С. А. Леса Украины / С. А. Генсирук.– М.: Лесная промышленность, 1975. – 278 с.

23. Голиков А. И. Постепенные рубки – эффективный путь повышения продуктивности лесов Молдавии / А. И. Голиков, Г. С. Иванов // Повышение продуктивности и сохранности лесов. – 1969. – С. 169 – 173.

24. Гораш И. К. Ландшафты Приднестровского левобережья Молдавии: автореф. … дис. канд. географ. наук [Электронный ресурс] / Гораш И. К. // Национальная библиотека республики Молдова. – Режим доступа: – http://catalog.bnrm.md/opac/bibliographic_view/600672.

25. Гораш И. К. Морфологическая структура Дубоссарского ландшафта / И. К. Гораш // Ландшафтные исследования в Молдавии. – 1970. – С. 13 – 21.

26. Гурский В. В. Красно-Тростянецкая лесная опытная станция / В. В. Гурский. – Харьков: ХСХИ, 1959. – 115 с.

27. Гурский В. В. Итоги исследований Красно-Тростянецкой ЛОС по созданию и выращиванию дубовых насаждений / В. В. Гурский // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 109 – 124.

28. Енькова Е. И. Теллермановский лес и его восстановление / Енькова Е. И. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1976. – 216 с.

29. Жуков А. Б. Дубравы СССР: в 5 т. / Жуков Анатолий Борисович // – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1949. – 1 т.

30. Жуков А. Б. Культуры по сплошь обработанной почве. Культуры по частично обработанной почве / А. Б. Жуков, П. К. Фальковский // Труды по лесному опытному делу Украины. – 1928. – Вып. 8. – С. 21 – 97.

31. Забросаев Н. С. Лесоводственная эффективность опытных рубок главного пользования в дубравах Кодр Молдавии / Н. С Забросаев. // Повышение эффективности использования лесных ресурсов Молдавии. – 1982. – С. 3 – 18.

32. Захаров В. М. Устойчивое природопользование: постановка проблемы и региональный опыт / В. М. Захаров. – М.: Институт устойчивого развития, 2010. – С. 8 – 9.

33. Защитное лесоразведение в СССР. – М.: Агропромиздат, 1985. – 263 с.

34. Зыков И. Г. Научные основы создания системы защитных насаждений и обоснование оптимальной лесистости территории Молдавии / И. Г. Зыков // Охрана и рациональное использование флоры, фауны и ландшафтов. – 1970. – С. 140 – 145.

35. Изюмский П. П. Рубки ухода в дубравах УССР / П. П. Изюмский // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 90 – 101.

36. Иванова М. М. Эколого-энергетический анализ процессов восстановления лесов Томской области (на примере сосны обыкновенной) / М. М. Иванова // Вестник Томского государственного университета. - 2010. – С. 187 – 191.

37. Иванов Г. С. Семенное возобновление дуба в Кодрах Молдавии / Г. С. Иванов // Труды Молдавской ЛОС. – 1958. – Вып. 1. – С. 5 – 66.

38. Казанков В. А. Проблемы рационального использования земельных ресурсов в волгоградской области / В. А. Казанков, С. Н. Кириллов // Юг России. - 2010. – № 4. – С. 96 – 98.

39. Капитальчук И. П. К вопросу о природно-географическом районировании Приднестровья Берг / И. П. Капитальчук, Н. Н. Соловьева // Академику Л.С. Бергу – 135 лет. – 2011. – С. 217 – 221.

40. Карты Google [Электронный ресурс] // Google карты. – Режим доступа: – https: // www.google.ru / maps.

41. Климат [Электронный ресурс] // Moldova Gate. - Режим доступа: – http: // moldovagate.com/ru/article/show/100.

42. Корнаковский Г. А. Возобновлении дуба в Теллермановской роще / Г. А. Корнаковский // Лесопромышленный вестник. – 1904. – № 43. – С. 649 – 707.

43. Кочуров Б. И. Эффективность регионального природопользования: методические подходы / Б. И. Кочуров, В. А. Лобковский, А. Я. Смирнов // Проблемы региональной экологии. - 2008. – № 3. – С. 61—70.

44. Кочуров Б. И. Эффективность регионального природопользования. Региональные соотношения «население — территория — ресурсы — экономика».

Креативная активность населения. Добродетели народа / Б. И. Кочуров, В. А. Смирнов // Экономические стратегии. – 2007. –№ 3. – С. 32 — 44.

45. Кочуров Б. И. Критерии сравнения эффективности энергоресурсов, «пределы роста», или экономика «кротких» / Б. И. Кочуров, А. Н. Соколов // Проблемы региональной экологии. – 2013. – С. 115 — 123.

46. Кочуров Б. И. Экодиагностика и сбалансированное развитие: учебное пособие / Б. И. Кочуров. – М.: Маджета, 2003. – 384 с.

47. Кочуров Б. И. Эколого-энергетический анализ технологий лесовосстановления / Б. И. Кочуров, Н. А. Марунич // Экология урбанизированных территорий. – 2013. – № 1. – С. 93 – 96.

48. Кочуров Б. И. Критерии и показатели эффективности природопользования как процессов региональной деятельности / Б. И. Кочуров, В. А. Лобковский, А. Я. Смирнов, Л. Г. Лобковская // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 1. – С. 36 – 43.

49. Кочуров Б. И. Эколого-энергетический анализ экосистем / Кочуров Б. И., Марунич Н. А., // II Кавказский экологический форум. – 2015. – С. 9 – 16.

50. Кочуров Б. И. Эколого-энергетический анализ экосистем: монография / Б. И. Кочуров, Н. А. Марунич. – Москва: ИНФРА–М, 2016. – 144 с.

51. Кочуров Б.И. Энергетический подход в эколого-экономических исследованиях / Б. И. Кочуров, Н. А. Марунич // Псковский регионологический журнал. – 2016. - № 4. – С. 71 – 80.

52. Кочуров Б. И. Разработка и использование автоматизированных информационных систем для эколого-энергетического анализа с целью поиска технологий рационального природопользования / Б. И. Кочуров, Н. А. Марунич // Проблемы региональной экологии. – 2014. – № 6. – С. 219 – 221.

53. Кочуров Б. И. Эколого-энергетический анализ технологий лесовосстановления / Б. И. Кочуров, Н. А. Марунич // Экология урбанизированных территорий. – 2013. – № 1. – С. 93 – 96.

54. Кочуров Б. И. Энергетический подход к изучению геосистем и технологий лесовосстановления Приднестровья / Б. И. Кочуров, Н. А. Марунич // Юг России: экология, развитие. – 2016. – № 1. – С. 159 – 169.

55. Кочуров Б. И. Экологически сбалансированная структура земель и энергоэффективность ведения лесного хозяйства в Приднестровье / Н.А. Марунич, Ю.А. Хазиахметова, Е.В. Краснов // География и природные ресурсы. – 2017. – № 4. – С. 197 – 202.

56. Кочуров Б.И. Геоэнергетическая оценка лесных экосистем Приднестровья / Н.А. Марунич, В.А. Лобковский, Ю.А. Хазиахметова, Н.В. Фомина // Проблемы непрерывного географического образования и картографии. - 2018. - Вып.28. - С. 54-60.

57. Кравчук Ю. П. Проблемы лесов Приднестровья / Ю. П. Кравчук // Охрана природы Молдавии. – 1968. – № 6. – С. 59 – 75.

58. Кравчук Ю. П. О состоянии и использовании лесов Нижнего Приднестровья / Ю. П. Кравчук // Тезисы семинара по развитию производительных сил Нижнего Приднестровья. – 1971. – С. 55 - 57.

59. Кравчук Ю. П. Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия и вопросы рационального использования леса в Приднестровской зоне Молдавии / Ю. П. Кравчук // Тезисы докл. на межресп. конференции по развитию производительных сил Приднестровья. – 1969. – С. 45-47.

60. Кравчук Ю. П. Выращивание продуктивных лесных насаждений в Молдавии / Ю. П. Кравчук. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1969. – 232 с.

61. Куза П. А. Особенности роста генеративного потомства дуба черешчатого в Молдове / П. А. Куза // Лесоведение. – 2010. – №1. – С. 37 - 43.

62. Кулаков К. Ф. Дубравы СССР и задачи по повышению их устойчивости и продуктивности / К. Ф. Кулаков // Тезисы доклада на Всесоюзном научно-техническом совещании. – 1978. – С. 3 – 10.

63. Кулаков К. Ф. Состояние дубрав СССР и задачи по повышению их устойчивости и продуктивности / К. Ф. Кулаков // Дубравы и повышение их продуктивности. – 1981. – С. 5 – 13.

64. Лавриненко Д. Д. Взаимодействие древесных пород и пути повышения продуктивности лесных культур в дубравах Украинской ССР / Д. Д. Лавриненко // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 69 – 85.

65. Лебков В. Ф. О результатах рубок Г. А. Корнаковского в Теллермановском лесу / В. Ф. Лебков // Молодые лесоводы сорокалетию Великого Октября. – 1957. – С. 93 – 100.

66. Логгинов Б. И. Пути повышения продуктивности лесов Украинской ССР / Б. И. Логгинов //Лесоводство и агролесомелиорация. – 1965. – Вып. 2. – С. 3 – 9.

67. Логгинов Б. И. Эффективность дубовых насаждений в степи. / Б. И. Логгинов, Л. Т. Устиновская // Тез. докл. на Всесоюз. науч.-техн. совещании. - 1978. – С. 103 – 106.

68. Логгинов Б. И. Об уплотнении низкополнотных древостоев путем создания подпологовых культур / Б. И. Логгинов, Н. И. Онискив //Усовершенствование лесного дела. – 1974. – Вып. 93. – С. 26 – 35.

69. Лохматов Н. А. Усыхание дуба в байрачных и южнолесостепных дубравах и мероприятия по их оздоровлению / Н. А. Лохматов, В. В. Гречуха //Тез. докл. на Всесоюз. науч.-техн. совещании. – 1978. – С. 50 – 53.

70. Лохматов Н. А. Оздоровление дуба в очагах его повреждений и усыхания в дубравах и искусственных лесонасаждениях Украины / Н. А. Лохматов // Дубравы и повышение их продуктивности. – 1981. – С. 192 – 207.

71. Лохматов Н. А. Испытано временем. (К 100-летию учреждения Докучаевской Экспедиции) / Н. А. Лохматов, В. А. Бородавка. – Донецк, 1992. – 56 с.

72. Марунич Н. А. Анализ функционирования лесных экосистем с антропогенным воздействием с позиции энергетического подхода / Н. А. Марунич // Академику Л.С. Бергу – 135 лет. – 2011. – С. 278 – 280.

73. Марунич Н. А. Перспектива анализа функционирования лесной экосистемы с позиции энергетического подхода с целью поиска путей

неистощительного природопользования и сохранения биоразнообразия / Н. А. Маруныч // Актуальные проблемы биоэкологи. – 2010. – С. 45 – 47.

74. Маруныч Н. А. Геоэнергетический подход, как новый метод в географических исследованиях / Н. А. Маруныч // VI Семеновские чтения. – Липецк, 2017. – С. 112–114.

75. Маруныч Н. А. Практическое применение оптимальной энергоэффективной технологии лесовосстановления / Н. А. Маруныч // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 5. – С. 219 – 221.

76. Маруныч Н. А. Перспективная модель восстановления и функционирования лесных экосистем Приднестровья, разработанная с использованием эколого-энергетического анализа / Н. А. Маруныч // Природные и антропогенно трансформированные экосистемы приграничных территорий в постчернобыльский период. – 2014. – С. 121 – 123.

77. Маруныч Н. А. Энергетическая оценка ожидаемого хозяйственно-экономического эффекта технологии лесовосстановления в районе бассейна реки Днестр / Н. А. Маруныч // Управление бассейном трансграничного Днестра в условиях нового бассейнового договора. – Кишинёв, 2013. – С. 242 – 244.

78. Маруныч Н. А. Перспектива комплексного анализа функционирования лесной природоохранной экосистемы ур. Калагур с позиции энергетического подхода / Н. А. Маруныч // Чтения памяти кандидата биологических наук доцента Л.Л. Попа. – 2010. – С.47 – 50.

79. Маруныч Н. А. Геоэнергетический анализ лесных экосистем / Н. А. Маруныч // Экология. Окружающая среда. Состояние и перспективы. – Бендеры, 2016. – С. 34 – 39.

80. Маруныч Н. А. Анализ функционирования лесных экосистем геоэнергетическим методом / Н. А. Маруныч // Комплексные проблемы техносферной безопасности. - Воронеж, 2016. – С. 14 – 18.

81. Маруныч Н. А. Оценка биоресурсов экосистемы методом эколого-энергетического анализа / Н. А. Маруныч // Вестник совета молодых ученых

Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2015. – С. 46 – 49.

82. Марунич Н. А. Эколого-энергетический анализ при построении перспективной модели восстановления и функционирования лесных экосистем с антропогенным воздействием / Н. А. Марунич // Научное сопровождение инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспектива. – Рязань, 2014. – С. 167 – 170.

83. Маяцкий И. Н. Появление самосевного подлеска под пологом искусственных лесонасаждений / И. Н. Маяцкий // Сб. трудов Укр. НИИ ЛХА. – 1963. – Вып. № 25. – С. 50 – 56.

84. Маяцкий И. Н. Роль кустарников в создании высокопродуктивных культур на Украине / И. Н. Маяцкий // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1978. – С. 280 –286.

85. Маяцкий И. Н. Конструирование насаждений для биологического обогащения лесоаграрных ландшафтов / И. Н. Маяцкий // Фауна биоценотических оазисов и её практическое значение. – 1990. – С. 203 – 228.

86. Маяцкий И. Н. Технология восстановления насаждений с преобладанием дуба / И. Н. Маяцкий, А. И. Усенко // Экологические проблемы Приднестровья. – 2010. – С. 79 – 94.

87. Мелехов И. С. Очерк развития науки о лесе в России / И. С. Мелехов. – М.: Изд-во Академии наук СССР,1966 –120 с.

88. Мелехов И. С. Вступительное слово / И. С. Мелехов // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 5 – 6.

89. Миндрин А. С. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции / А. С. Миндрин. – М.: ЦНИИМ, 1997. – 294 с.

90. Миндрин А. С. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции: дис. … доктора эконом. наук: 08.00.05 / Миндрин Алексей Семенович. - М., 2003. – 291 с.

91. Минлебаев Г. В. Проблемы внедрения инноваций в лесном природопользовании / Г. В. Минлебаев // Рациональное природопользование: традиции и инновации. – 2013. – С. 78 – 80.

92. Моисеев Н. А. Особенности дубрав и хозяйства в них / Н. А. Моисеев // Дубравы и повышение их продуктивности. – 1981. – С. 37 – 42.

93. Молчанов А. А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи / А. А. Молчанов – М.: Наука, 1964. – 150 с.

94. Молчанов А. А. Результаты исследований по повышению устойчивости и продуктивности дубовых насаждений, поврежденных вредными насекомыми / А. А. Молчанов // Тезисы доклада на Всесоюзном научно-техническом совещании «Состояние и перспективы дальнейшего улучшения воспроизводства и повышения продуктивности дубрав Европейской части СССР». – 1978. – С. 23 – 27.

95. Морозов Г. Ф. Памяти Г. А. Корнаковского / Г. Ф Морозов // Лесной журнал. – 1908 – Вып. 1. – С. 1 – 4.

96. Морозов Г. Ф. О возобновлении дубового леса в Теллермановском лесничестве по способу Корнаковского / Г. Ф. Морозов, В. А. Широков // Лесной журнал. – 1903. – Вып. № 1. – С. 17 – 22.

97. Морозов Н. Ф. Состояние и перспективы дальнейшего воспроизводства и повышения продуктивности дубрав в Европейской части СССР (западная часть Башкирии) / Н. Ф. Морозов // Тез. докл. на Всесоюз. науч.-техн. совещании. - 1978. – С. 53 – 57.

98. Мухин Ю. П. Результаты системно-ландшафтного изучения энтомофауны Поволжья и Нижнего Дона / Ю. П. Мухин // Экология лесоаграрного ландшафта. – 1986. – С. 63 – 73.

99. Научный отчет за 1978 г.: отчет о НИР / Забросаев Н. С. – Бендеры: Молдавская лесная опытная станция, 1978. – 140 с.

100. Научный отчет за 2018 г.: отчет о НИР / Рущук В.С. – Бендеры: Республиканский научно-исследовательский институт экологии и природных ресурсов Приднестровской Молдавской Республики, 2018. – 160 с.

101. Нестеров В. Г. Общее лесоводство / Нестеров В. Г.. – М., Л.: Гослесбумиздат, 1954. – 240 с.

102. Николаева Л. П. Насаждения из пушистого дуба в Молдавии / Л. П. Николаева// Лесное хозяйство. – 1962. – № 2.

103. Новосельцев В. Д. Дубравы / В. Д. Новосельцев, В. А. Бугаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 212 с.

104. Новосельцев В. Д. Формирование дубрав искусственного и естественного происхождения / В. Д. Новосельцев, И. И. Смольянов // Дубравы и повышение их продуктивности. – 1981. – С. 43 – 51.

105. Одум Ю. Экология / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 741 с.

106. Озолин Г. П. Результаты исследований по борьбе с вредными насекомыми и болезнями дубрав засушливого юго-востока РСФСР / Г. П. Озолин, В. Ю. Щебланов, Е. А. Крюкова // Тез. докл. на Всесоюзном научно-техн. совещании. – 1978. – С. 32 – 35.

107. Озолин Г. П. Повышение устойчивости дубрав на юго-востоке Европейской части РСФСР / Г. П. Озолин //Дубравы и повышение их продуктивности. – 1981. – С. 110 – 121.

108. Онискив Н. И. Создание культур под пологом низкопродуктивных насаждений / Н. И. Онискив. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 110 с.

109. Орловский В. Б. Способы рубок главного пользования и технологии лесоразработок, обеспечивающих наилучшее возобновление дуба в Кодрах Молдавии / В. Б. Орловский // Сборник работ по лесному хозяйству Молдавии. – 1968. – Вып. 3. – С. 33 – 53.

110. Поздняков А. В. Концептуальные основы решения проблемы устойчивого развития / А. В. Поздняков. – Т.: Спектр, 1995. – 150 с.

111. Поздняков А. В. Синергетика – современная научная парадигма и методология исследования сложных самоорганизующихся структур [Электронный ресурс] / А. В. Поздняков // Общероссийский информационный ресурс. – Режим доступа: – http: // pozdnyakov.tut.su / Public / st 0205. html.

112. Поздняков А. В. Новый методологический подход к анализу функционирования агроэкосистем / А. В. Поздняков, К. А. Шуркина // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – № 316. – С. 206 – 212.

113. Поздняков А. В. Социально-экономические проблемы России в современных условиях и возможные пути их решения / А. В. Поздняков // Трансформация социально-экономического пространства Евразии в постсоветское время. – 2014. – С. 25 – 28.

114. Помазкова Н. В. Земельные ресурсы и современные проблемы землепользования Забайкальского края / Н. В. Помазкова // Ученые записки ЗабГГПУ. – 2010. – № 1. – С.60 – 67.

115. Порицкий Г. А. Культуры под пологом изреженных насаждений – один из путей повышения продуктивности лесов МССР / Г. А. Порицкий, М. И. Гордиенко, Н. В. Шикимака // Экологические основы охраны и воспроизводства лесных ресурсов Молдавии. – 1989. – С. 85 – 88.

116. Порицкий Г. А. О причинах усыхания дуба в лесах Модавской ССР / Г. А. Порицкий, Н. Н. Падий, М. И. Гордиенко, Н. В. Шикимака // Тез. докл. на Всесоюз. науч.-техн. совещании. – 1978. – С. 47 – 50.

117. Порицкий Г. А. Дубовые леса Молдавской ССР / Г. А. Порицкий, М. И. Гордиенко, Н. В. Шикимака // Дубравы и повышение их продуктивности. – 1981. – С. 165 – 178.

118. Предпосылки и перспективы формирования экологической сети Северной Евразии // Охрана живой природы. – 1998. – Вып. 1 (9). – 82 с.

119. Пригара К. Н. Посев дуба на лесосеках, предназначенных в рубку в ближайшие десятилетия / К. Н. Пригара //Лесопромышленный вестник. – 1903 – № 1. – С. 5– 6.

120. Проект организации и развития лесного хозяйства Рыбницкого лесхоза Министерства лесного хозяйства Молдавской ССР. Таксационные описания Каменского, Рашковского, Воронковского и Дубоссарского лесничеств. – Киев, 1985.

121. Проект организации и развития лесного хозяйства Бендерского лесхоза Министерства лесного хозяйства Молдавской ССР. Таксационное описание Григориопольского лесничества. – Киев, 1985.

122. Проект создания экологической сети на Европейской территории России: лесной аспект: Европейская программа МСОП. – Москва, 1996. – 111 с.

123. Прока В. Е. Ландшафтная карта М 1: 750 000 / В. Е. Прока // Атлас Молдавской ССР. – 1978. – С. 71.

124. Прока В. Е. Ландшафтное районирование. Карта М 1:1500 000 / В. Е. Прока // Атлас Молдавской ССР. – 1978. – С.72.

125. Прока В. Е. Морфологическая структура ландшафтов и землеустроительное проектирование: методические рекомендации / В. Е. Прока; под ред. Н. А. Солнцева. – Кишинев: Штиинца, 1976. – 48 с.

126. Прокопенко Н. И. Причины усыхания дубрав УССР и комплексные мероприятия по его предотвращению / Н. И. Прокопенко, И. Д. Авраменко, Л. Н. Быдоховец // Тез. докл. на Всесоюз. науч.-техн. совещании. - 1978. – С. 93 – 96.

127. Пыльнева Т. Г. Природопользование: учебное пособие / Т. Г. Пыльнева. – М.: Финстатинформ, 1997. – 144 с

128. Пятницкий С. С. Дубравы Советского Союза, история и перспективы дальнейшего выращивания и повышения их продуктивности / С. С. Пятницкий // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 7 – 27.

129. Развитие эко сети Украины: программа развития ООН. – Киев, 1999. – 127 с.

130. Редько Г. И. Лесные культуры / Г. И. Редько, А. Р. Родин, И. В. Трещевский. – М.: Агропромиздат, 1980. – 368 с.

131. Реймерс Н.Ф. Экология / Н. Ф. Реймерс. – М.: Россия Молодая, 1994. – 367 с.

132. Ромашов Н. В. Лесовозобновление в дубравах УССР при разных способах и технологии рубок / Н. В. Ромашов, В. А. Поляков // Тез. докл. на Всесоюз. науч.-техн. совещании. – 1978. – С. 69 – 79.

133. Рымбу Н. Л. Природно-географическое районирование Молдавской ССР / Н. Л. Рымбу. – Кишинев: Штиинца, 1982. – 146 с.

134. Рымбу Н. Л. Природные условия и ресурсы Молдавской ССР / Н. Л. Рымбу. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 192 с.

135. Саблин Г. А. Энерго-метрологическая экономика. Дж. энергорубль [Электронный ресурс] / Г. А. Саблин // Общероссийский информационный ресурс. – Режим доступа: – http://www.ffaa.info/str1.html.

136. Сапожникова В. М. Улучшение ведения лесного хозяйства в дубравах Тульской области / В. М. Сапожникова // Тез. докл. на Всесоюзном науч.-техн. совещании. – 1978. – С. 99 – 103.

137. Седашев П. А. Культура дуба под пологом старого насаждения / Седашев П. А. // Лесопромышленный вестник. – 1902. – № 42. – С. 740 – 742.

138. Седашев П. А. Культуры дуба / П. А. Седашев //Лесопромышленный вестник. – 1903. – № 40. – С. 40 – 42.

139. Сотников В. В. Современное состояние лесного фонда, проблемы лесной отрасли Приднестровья / В. В Сотников // Экологические проблемы Приднестровья. – 2010. – С. 48 – 56.

140. Статистический ежегодник Приднестровской Молдавской Республики. – Тирасполь: Государственная служба статистики Приднестровской Молдавской Республики, 2017. – 188 с.

141. Сысуев В. В. Планирование устойчивого природопользования на основе теории геосистем / В. В. Сысуев // Рациональное природопользование: традиции и инновации. – 2013. – С. 92 – 95.

142. Тимко М. М. Докладная записка директору ВНИИ ЛХ И. А. Хомякову: рукопись / М. М. Тимко. – Пушкино, 1947.

143. Ткаченко А. И. Из прошлого лесов Молдавии / А. И. Ткаченко // Охрана природы в Молдавии.- Кишинев: Штиинца, 1961. – 100 с.

144. Ткаченко Б. В. Культуры дуба на нераскорчеванных лесосеках в дубравах / Б. В. Ткаченко // Дубравы Советского Союза и повышение их производительности. – 1968. – С. 256 – 265.

145. Токмакова С. Г. Некоторые принципы организации агроценозов / С. Г. Токмакова // Экологическая генетика растений и животных. – 1981. – С. 33.

146. Тюрин А. В. Дубравы водоохранной зоны и способы их восстановления / А. В. Тюрин // Дубравы СССР. – М.,Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 120 с.

147. Фузелла Т. Ш. Энергетический подход к определению эффективности и оптимизации функционирования агроэкосистем (на примере СПК «Нелюбино»): Автореф. … дис. на соиск. уч. ст. канд. географ. наук: 25.00.36 / Фузелла Татьяна Шалвовна. – Томск, 2010. – 23 с.

148. Шипов лес. – Воронеж, 1969. – С. 129 – 180.

149. Шуркина К. А. Анализ функционирования агроэкосистем с позиции энергетического подхода (на примере крестьянского хозяйства «СоМер-2» : дис. … канд. географ. наук: 25.00.36 / Шуркина Ксения Алексеевна. – М., 2009. – 150 с.

150. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. / Б. М. Яворский, М., А. А. Детлаф. – М.: Наука, 1981. - 99 с.

151. Kuechli C. Forest of Hope: Stories of regeneration / C. Kuechli. – London: Earthscan. 1997. – 250 pp.

152. Odum H. Environment, Power and Society / H. Odum. – NY., 1971. – 336 pp.

153. Odum H. Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making / H. Odum. – NY., 1996. – 370 pp.

154. Pimentel D., Rodrigues G., Wane T. Renewable energy: economic and environmental issues / D. Pimentel, G. Rodrigues, T. Wane // BioScience. – 1994. – № 8. – Vol. 44.

155. Sayer J. The restoration of forest biodiversity and ecological values / J. Sayer, U. Chokkalingam, J. Poulson // Proceedings International Seminar on Restoration Research on Degraded Forest Ecosystems. – 2001. – P. 60 – 66.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Расчет геоэнергетических затрат по основным средствам производства для различных вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем

$$E_1=\sum M\times l_m\times t, \quad (1)$$

где: M - металлоемкость, кг/га;

l_m - энергетический эквивалент средств механизации, МДж/га;

t – время работы агрегата.

Металлоемкость тракторов, техники:

$$M=1/w\times\sum G_l\times(a+r)/T_H, \quad (2)$$

где: w- производительность агрегата га/ч, оборудование т/ч;

G_l - масса l-ой машины, входящей в агрегат, кг;

T_H - годовая нормативная нагрузка, ч;

a, r - норма отчисления на амортизацию и ремонт.

Вариант № 1:

1) корчевка пней трактором К-700:

M = 1,00/0,23×11800,00×(10,00+16,30)/1350,00=988,50 кг/га;

E_1= 988,50×4,30×331,07=1407252,60 МДж/га.

2) вычесывание пней в 2 следа К-700 + ДП-24:

M=1,00/0,40×(11800,00+3320,00)×((26,30+24,30)/2,00)/((1350,00+350,00)/2,00)=1125,10 кг/га;

E_1 = 1125,10×5,00×(327,60+200,00) = 2968013,80 МДж/га.

3) плантажная вспашка К-700+ППН-40:

М=1,00/1,30×(11800,00+510,00)×((26,30+25,00)/2,00)/((1350,00+400,00) / 2,00)= 274,90 кг/га;

E_1=274,90 ×0,77×(327,60+30,00) =75694,30 МДж/га.

4) дискование в 2 следа К-700+БДН-3:

М=1,00/8,20×(11800,00+698,00)×((19,50+26,30)/2,00)/((1350,00+180,00)/ 2,00)=64,00 кг/га;

E_1=64,00×0,24×(327,60+87,90)=6382,10МДж/га.

5) подвозка посад. Материала ГАЗ-53:

М=1,00/22815,00×20,00/1400,00×3435,00=15,50 кг/га;

E_1=15,50×0,50×80,10МДж/ч=620,80 МДж/га.

6) механизированная посадка МТЗ-80+МЛУ-1:

М=1,00/2,00×(3160,00+945,00)×((24,00+22,50)/2,00)/((1350,00+140,00)/ 2,00)=61,50 кг/га;

E_1=61,50×0,50×(80,10+80,40)=4935,40 МДж/га.

7) 16-ти кратный уход в междурядьях МТЗ-80+КЛБ-1,7:

М=1,00/6,20×(3160,00+510,00)×((24,00+24,30)/2,00/((1200,00+280,00)/2, 00)=19,10 кг/га;

E_1=2,50×19,00× (80,10+40,00)=5752,79 МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по основным средствам производства технологии оптимизации № 1: E_1 = 4468651,79 МДж/га.

Вариант № 2:

1) маркировка площади МТЗ-80+КЛБ-1,7:

М=1,00/0,80×(3160,00+510,00)×((24,00+24,30)/2,00)/((1350,00+280,00)/

2,00) =135,94 кг/га;

E_1=135,94× 1,25× (80,10+40,00) = 20406,49 МДж/га.

2) подвозка посад материала ГАЗ-53:

М=1,00/2,00×2815,00×20,00/1400,00=20,10 кг/га;

E_1=20,10×0,50×80,10=805,00 МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по основным средствам производства технологии оптимизации № 2: E_1 = 21211,49 МДж/га.

Вариант № 3:

1) вспашка МТЗ-80+ПЛН-4-35:

М=1,00/2,00×(710,00+3160,00)×((25,00+24,00)/2,00)/((135,00+500,00)/2,00)= =149,32кг/га;

Е = 51,50×0,02×(41,30+80,10)=308,17 МДж/га.

2) дискование в 2 следа МТЗ-80+БДН-3:

М=1,00/8,20×(3160,00+698,00)×((19,50+24,00)/2,00)/((1350,00+180,00)/2,00)==13,38 кг/га;

Е=13,30×0,01× (80,10+87,90) = 22,47 МДж/га.

3) подвоз посадочного материала ГАЗ-53:

М=1,00/2,00×2815,00×20,00/1400,00=20,10×2=40,20 кг/га;

Е=20,10×0,50×80,10=805,00×2 =1610,00 МДж/га.

4) 4-ех кратный уход МТЗ-80+КЛБ-1,7:

М=1,00/6,20×(3160,00+510,00)×((21,50+24,00)/2,00)/((1350,00+350,00)/2,00) =15,84кг/га;

Е= 15,80×0,02×1153,67=364,56 МДж/га.

5) выпахивание сеянцев (саженцев) МТЗ-80+ВПН-2:

M=1,00/0,26×(3160,00+70,00) ×
((24,00+25,00)/2,00)/((1350,00+500,00)/2,00) =329,04 кг/га;

E= 329,04×0,13× (80,10+5,00) = 3640,17 МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по основным средствам производства технологии оптимизации № 3: E_1 = 5945,37 МДж/га.

Приложение 2

Расчет геоэнергетических затрат по оборотным средствам вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем

$$E_2 = \sum Q_{tj} \times e_{ti}, \quad (1)$$

где: E_2 - энергозатраты на виды топлива, Дж;

Q_{tj} – количество потраченного топлива, кг;

e_{ti} - энергетический эквивалент вида топлива, МДж/кг.

Вариант № 1:

Расход топлива агрегатами:

К-700 =117,94 л;

ГАЗ-53 = 7,00 л;

МТЗ-80 = 0,50+2,50 = 3,00×12,00=36,00 л;

Итого: 160,95 л.

E_2= 160,95×39,67 = 6384,88МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по оборотным средствам технологии оптимизации № 1: E_2 = 6384,88 МДж/га.

Вариант № 2:

Расход топлива агрегатами:

МТЗ-80 = 1,25×12,00 = 15,00 л;

ГАЗ-53 = 0,52×14,00 = 7,21 л;

Итого: 22,21 л.

E_2= 22,21 × 39,67 = 881,10 МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по оборотным средствам технологии оптимизации № 2: E_2=881,10 МДж/га.

Вариант № 3:

Расход топлива агрегатами:

МТЗ-80 = 10,38×12,00 = 124,60 л;

ГАЗ-53 = 1,00×14,00 = 14,00 л;

Итого: 138,60 л.

E_2 = 138,60 × 39,67 = 5498,25 МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по оборотным средствам технологии оптимизации № 3: E_2=5498,25 МДж/га.

Приложение 3

Расчет геоэнергетических затрат по трудовым ресурсам вариантов оптимизации функционирования лесных экосистем

$$E_З = \sum T_j \times e_i, \quad (1)$$

где: $E_З$ – энергозатраты на трудовые ресурсы, Дж;

T_j – трудозатраты, чел/ч;

e_{ti} - энергозатраты человека в процессе трудовой деятельности, МДж/кг.

Вариант № 1:

Геоэнергетические затраты тракториста = 13,35 × 1,88 = 25,03 МДж;
Геоэнергетические затраты водителя = 0,50×1,88 = 0,94 МДж;
Геоэнергетические затраты рабочего = 75,63 × 2,09 = 158,07 МДж;

$E_З$= 184,03 МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по трудовым ресурсам технологии оптимизации № 1: $E_З$=184,03 МДж/га.

Вариант № 2:

Геоэнергетические затраты тракториста =1,25 × 1,88 = 2,34 МДж/га;
Геоэнергетические затраты водителя = 0,50 × 1,88= 0,94 МДж/га;
Геоэнергетические затраты рабочего =116,22 × 2,09 = 242,90 МДж/га;

$E_З$= 246,17 МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по трудовым ресурсам технологии оптимизации № 2: $E_З$= 246,17 МДж/га.

Вариант № 3:

Геоэнергетические затраты рабочего = 6,13 × 2,09 = 12,81 МДж/га;

Геоэнергетические затраты тракториста = 0,13+0,017+0,004+0,02= 0,171ч× 1,875 = 0,32 МДж/га;

Геоэнергетические затраты водителя = 0,74 × 1,88= 1,39 МДж/га;

$E_З$= 15,45 МДж/га.

Итого геоэнергетических затрат по трудовым ресурсам технологии оптимизации № 2: $E_З$= 15,45 МДж/га.