УДК 332.644

Кадастровая оценка лесных земель с учетом степени развитости их инфраструктуры

В.Ф.КОВЯЗИН¹, А.А.КИЦЕНКО¹✉, СЕЙЕД ОМИД РЕЗА ШОБАЙРИ²¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия² Исследовательский центр дистанционного зондирования лесного хозяйства и информационной инженерии CSUFT, Чаншиа, Китай

Как цитировать эту статью: Ковязин В.Ф. Кадастровая оценка лесных земель с учетом степени развитости их инфраструктуры / В.Ф.Ковязин, А.А.Киценко, Сейед Омид Реза Шобайри // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 449-462. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.14

Аннотация. В статье обоснована необходимость совершенствования методики кадастровой оценки лесных земель и изменения принципов расчета арендной ставки лесных земель, на основе которой в будущем будет определяться арендная плата за пользование этими землями. Приведена методика определения кадастровой стоимости лесных земель с учетом степени развитости их инфраструктуры. Рассмотрена инфраструктура земель лесного фонда и приведен алгоритм оценки такой инфраструктуры посредством геоинформационного моделирования. Представлена методика вычисления комплексного интегрального показателя (коэффициента развитости инфраструктуры), которая применима для дифференциации земель, покрытых и непокрытых древесной растительностью, для эффективного и рационального управления ими. Комплексный интегральный показатель определяет доступность лесных участков, так как учитывает расположение объектов инфраструктуры лесного фонда по отношению к участкам оценки, что позволяет получить информацию о затратах времени на преодоление необходимого пространства. Данная методика может быть применима для оценки качества и состояния существующей инфраструктуры лесного сектора при реализации мероприятий в рамках Стратегии развития лесного комплекса, предусматривающих поддержку и строительство инфраструктурных объектов на землях лесного фонда. Методика прошла апробацию в Балтийском участковом лесничестве Балтийско-Белозерского таежного района, в результате получена карта развитости инфраструктуры лесного фонда в границах оценки дифференцирования по рассчитанному интегральному показателю развитости инфраструктуры, получена регрессионная модель расчета ставки арендной платы с учетом таксационной ценности и интегрального показателя развитости инфраструктуры, рассчитана кадастровая стоимость земель лесного фонда с учетом разработанной модели.

Ключевые слова: лесные земли; кадастровая стоимость; изохроны; моделирование; инфраструктура лесного фонда; интегральный коэффициент качества; арендная ставка

Введение. Сохранение и эффективное использование лесов входят в число приоритетных направлений развития Российской Федерации в соответствии с утвержденными основами государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов на период до 2030 г. [18]. Российская Федерация является крупнейшей лесной державой мира, на ее долю приходится четверть мирового лесного покрова [17]. В настоящее время государство уделяет особое внимание сохранению, защите и рациональному использованию лесных земель. Леса являются многофункциональным ресурсом и представляют собой планетарное явление: участвуют в процессах круговорота кислорода и углекислого газа, являются фильтром очистки атмосферы от газообразных загрязняющих веществ и твердых частиц пыли, являются важным компонентом биосферы, обеспечивая ее устойчивое функционирование. В последнее время во всем мире экологической функции лесов придается большое значение. В целях поддержки формирования национального углеродного баланса и сохранения лесов по поручению Президента РФ В.В.Путина проводится масштабная реформа в области лесного хозяйства, включающая в себя увеличение ценности лесов, развитие инфраструктуры лесов, проведение мероприятий по декриминализации отрасли, так как данные государственного лесного реестра являются основой для отслеживания динамики баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации. Мерами государственного регулирования в области сохранения и охраны лесов по итогам реформы стали: создание единой федеральной государственной информационной системы лесного комплекса для отслеживания пути древесины – заготовки, транспортировки, производства и экспорта продукции; ведение государственного лесного реестра в электронной форме, оформление сопроводительной документации на древесину и продукцию переработки древесины, удостоверяющей легальность заготовки древесины и производства продукции. Кроме того, для сохранения

углеродного баланса разработана Стратегия долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г., которая содержит ряд сценариев для сохранения углеродного баланса: масштабное внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий во всех отраслях экономики, кардинальное снижение потерь энергии; существенное сокращение сплошных рубок или полный отказ от них; рост энергоэффективности за счет внедрения наилучших доступных технологий и модернизации энергетики [26]. Совершенствование порядка рубок лесных насаждений направлено на противодействие глобального обезлесения, вызванное международной торговлей древесиной. По причине того, что с каждым годом растет спрос на товары из лесоматериалов, замедлить темпы обезлесения возможно путем усиления финансовой ответственности производителей и потребителей, усиления мер по охране лесов, их эффективному и рациональному управлению [44, 49].

Несмотря на реформу в сфере управления лесным сектором, по-прежнему остаются нерешенными вопросы стоимостной оценки лесного участка, а также выбора необходимых подходов и методов получения объективной стоимости. Индикатором эффективного и рационального управления землями лесного фонда является кадастровая оценка [22, 46]. Однако, существующие методики кадастровой оценки лесных земель являются общими, т.е. не учитывают индивидуальные особенности лесных участков [1]. В сложившихся условиях государственная кадастровая оценка земель лесного фонда не основывается на рыночных данных (аукционах по продаже лесных насаждений и сдаче лесных участков в аренду), не учитывается существующая лесная инфраструктура, которая является основным инструментом развития, освоения и эффективного использования лесных территорий [16, 19]. Данная проблема должна решаться не только на экономическом уровне, но и на законодательном, поскольку улучшения на землях лесного фонда за счет собственных средств арендаторов и рыночные цены на готовую древесную продукцию не учитываются при кадастровой оценке. Расположение участков относительно объектов транспортной инфраструктуры в большей степени влияет на величину лесной ренты [5, 11, 27]. Методика оценки земель лесного фонда, основанная на расчете удельного показателя кадастровой стоимости [16], которая на данный момент применяется оценочными организациями, является упрощенной и носит рекомендательный характер по выбору подходов и методов оценки, в ней учтены только основные лесообразующие породы, однако состав пород в границах выделов, как правило, различается. Кроме того, для оценки территории применяются слишком крупные территориальные единицы – районное, участковое лесничество, а не лесной квартал или выдел. Недостатком данной методики также является то, что не учтены затраты на заготовку древесины, транспортировку и реализацию продукции на рынке, в том числе через получаемую лесную ренту. В результате удельные показатели кадастровой стоимости по участковым лесничествам занижены, соответственно они занижены и по лесным участкам. Методика оценки лесов [15] не содержит конкретные математические формулы для определения стоимости лесов, остальные методические нормативно-правовые акты отменены [13]. Совершенствование методики кадастровой оценки лесных земель должно проходить с учетом современных изменений в лесном секторе экономики.

Главными критериями доступности лесных ресурсов являются степень развитости лесной инфраструктуры и расстояние от участков заготовки древесины до транзитных путей [10, 30, 38]. В субъектах РФ степень развития лесной инфраструктуры, к которой относятся лесные дороги, пожарные водоемы, мосты, гидротехнические сооружения для осушения территории и другие объекты, является очень низкой, несмотря на то, что она необходима для обеспечения рационального использования, охраны, защиты от пожаров и проведения рубок, предотвращения заболачивания, воспроизводства лесов страны и др. [8, 32, 45]. Затраты на заготовку древесины, строительство лесовозных дорог и вывоз заготовленной продукции влияют на итоговую стоимость лесной продукции [5, 11, 31]. Ставки арендной платы [14], на которых базируется величина арендной платы за пользование лесными землями, складываются из объема заготовленной древесины с учетом преобладающей породы и расстояния вывозки с рекомендательной шкалой разряда такс, являются низкими, другая инфраструктура лесного фонда, в том числе расположение лесоперерабатывающих предприятий, пунктов сбора и сбыта продукции (верхних и нижних складов), не учитывается. Кроме того, не учитываются тип дорожного покрытия и расчетная скорость передвижения на дороге определенного типа.

Рис.1. Методика определения кадастровой оценки лесных земель с учетом степени развитости их инфраструктуры

В целях выполнения мероприятий, определенных стратегией развития лесного комплекса, в условиях отсутствия объективной методики оценки лесов, основанной на рыночных данных, предложена усовершенствованная методика кадастровой оценки лесных земель с учетом степени развитости их инфраструктуры, которая рекомендуется для стоимостной оценки лесных ресурсов, используемых для различных целей, в том числе для дифференциации лесных земель по степени развитости их инфраструктуры.

Методология. Методика определения кадастровой стоимости лесных земель с учетом степени развитости инфраструктуры представлена на рис.1. На первом этапе оценки осуществлялся сбор рыночных данных об объектах оценки, а также данных об инфраструктуре лесного фонда в границах территории оценки.

Оценка объектов (факторов) инфраструктуры лесного фонда. Для оценки инфраструктуры лесного фонда применялись средства геоинформационного моделирования, местоположение лесопромышленного предприятия определялось с помощью геокодирования [3, 12, 41]. Из разработанной ранее классификации инфраструктуры земель лесного фонда [39] собраны данные об объектах инфраструктуры и представлены в виде геоинформационных слоев: лесные склады (верхние и нижние), лесовозные и лесохозяйственные дороги, автомобильные дороги, водные объекты (реки, озера, внутренний водный путь), конторы лесничеств, лесозаготовительные предприятия – объекты, которые потенциально могут влиять на стоимость лесного участка. В границах территории в целях оценки инфраструктуры все существующие объекты (факторы)

являются ценообразующими на первоначальном этапе, поэтому оцениваются все объекты. Также в целях учета влияния фактора «Близость к населенным пунктам» на величину арендной платы учтено расположение населенных пунктов по отношению к участкам оценки лесного фонда. Алгоритм оценки объектов инфраструктуры лесного фонда при моделировании арендной платы и вычислении кадастровой стоимости лесного участка представлен на рис.1.

Этап сбора данных об объектах инфраструктуры в границах оценки предполагает изучение картографических материалов территории лесного фонда и иных документов, в том числе лесохозяйственного регламента, лесного плана лесничества и др., содержащих сведения об инфраструктуре лесного фонда, а также представление данной информации в геоинформационном (пространственном) виде для работы в ГИС-программах [3]. Апробация разработанной методики оценки инфраструктуры лесного фонда проведена на примере Балтийского участкового лесничества Северо-Западного районного лесничества Ленинградской области. Балтийское лесничество находится в Выборгском районе Ленинградской области, общая площадь лесничества составляет 15663 га. Балтийское лесничество находится в зоне сильной лесопатологической угрозы в отличие от всех остальных участковых лесничеств данного районного лесничества.

Спецификация инфраструктуры – этап, подразумевающий выбор технологии оценки того или иного объекта инфраструктуры (фактора), способа расчета величины, характеризующий объект инфраструктуры: построение изохрон, создание графов, оценка плотности дорожной сети, построение буферных зон и др.

Инженерная инфраструктура, обеспечивающая лесное хозяйство, должна обладать рациональной логистической цепью [42, 43]. Для оценки транспортной обеспеченности учитываются временные затраты на преодоление необходимого пути [34]. Поэтому на этапе спецификации инфраструктуры таких объектов как центры населенных пунктов, лесопромышленные предприятия, конторы лесничеств, верхние и нижние склады обязательно должна учитываться доступность каждого участка оценки.

Для представления факторов доступности объектов лесной инфраструктуры был реализован анализ сетей. Наиболее распространенным способом анализа сетей доступности объектов является построение изохрон (рис.2).

Порядок действий при построении изохрон следующий:

1. При помощи инструмента Networks создается граф дорожной сети, далее слой дорожных сетей разбивается на простейшие примитивы: отдельные узлы и соединяющие их отрезки. В отрезках указаны направление движения и скорость перемещения по данному примитиву. Скорость перемещения учитывалась в соответствии с типом дорожного покрытия (для лесохозяйственной дороги – 30, лесовозной – 50, для грунтовой проселочной – 40, автомобильной – 70 км/ч).

2. Для построения изохрон выбраны опорные точки для каждого рассматриваемого слоя. Для конторы и лесопромышленного предприятия по одной точке на каждый слой, для населенных пунктов, верхних и нижних складов – массив точек.

Рис.2. Алгоритм построения изохрон на примере лесопромышленного предприятия
а – отмерены точки; б – проставлены точки; в – точки соединены в полигон

Рис.3. Построение изохрон на примере конторы лесничества (а), градуированное оформление лесных кварталов по доступности к конторе лесничества (б)

1 – контора лесничества; 2 – населенные пункты; 3 – земельные участки; 4 – дорожная сеть; 5 – водные объекты; 6 – дорожная сеть

3. При помощи инструментов GRASS от опорных точек по графу дорог отложено расстояние (рис.2, а), которое преодолевает транспорт за отведенное время.

4. В качестве шага интервала использовано заданное время. По отложенному расстоянию в каждом направлении по графу проставлены точки (рис.2, б), впоследствии соединенные в полигон, представляющий собой одну изохрону (рис.2, в).

5. Проведено вычитание геометрии: из нижележащей изохроны вычтена вышележащая, результатом стали отдельные полигоны изохрон в виде вектора, содержащие информацию о затратах времени на преодоление пространства [33, 35].

6. Кварталам присвоено значение изохроны по каждому фактору в отдельности (например, изохроны от конторы лесничества к полигону выдела) по следующему правилу: если участок пересекает несколько изохрон, берется наилучшее значение, так как оно отражает доступность объектов инфраструктуры, что исключает необходимость расчета средневзвешенного значения.

7. В случае полного вхождения геометрии полигонов выделов в изохрону ему присваивается соответствующее значение. Результаты построения изохрон представлены на рис.3.

На хозяйственную деятельность арендаторов лесных участков оказывает благоприятное влияние густота внутренней дорожной сети, к примеру, для эксплуатации лесозаготовительной техники, поэтому важно учитывать качество дорожного покрытия, а также его суммарную длину. Поэтому на этапе спецификации алгоритма оценки инфраструктуры принято решение определить плотность дорожной сети, для каждого квартала определена суммарная протяженность дорог, проведена дифференциация по типу [37]. Вся территория лесничества покрыта регулярной сеткой 1000×1000 м [20], в каждой ячейке высчитана плотность дорог путем суммирования протяженности сети, включаемой в границы рассматриваемой ячейки (рис.4, а).

Для обоснования размерности геометрической сетки необходимо рассчитать размеры сторон типового земельного участка лесного фонда. Типовой лесной квартал имеет форму квадрата. Для определения типового участка для каждого из них рассчитан коэффициент конфигурации

Рис.4. Построение геометрической сетки на территории лесничества: а – пример присвоения ячейкам значений плотностей автомобильных дорог; б – выборка типовых лесных кварталов

$$k_{\text{конф}} = \frac{\Pi}{4\sqrt{P}},$$

где Π – периметр лесного квартала, км; P – площадь лесного квартала, км².

Сформирована выборка из 35 типовых участков по условию близости коэффициента конфигурации к единице (рис.4, б).

Далее для определения размеров типового участка в выборке было рассчитано среднее арифметическое значение, которое было возведено в корень. В результате сторона типового участка равна 966,75 м. Для удобства расчетов размер ячейки геометрической сетки округляется до значения типового участка местности 1000×1000 м.

Алгоритм присвоения плотности определенного вида дорог следующий: для каждого лесного квартала проверялось наличие пересечений с каждым объектом сетки, лесной квартал может пересекаться с несколькими ячейками, значение плотности рассчитывается по средневзвешенному по площади. Значения плотности присваивались при помощи высокоуровневого языка программирования Python (рис.5) [9, 40].

Определение состава значимых ценообразующих факторов. Для выявления наиболее значимых ценообразующих из всех факторов (объектов) инфраструктуры проводилась экспертная оценка [25, 29]. Для определения состава значимых факторов использовался модернизированный метод анализа иерархий [24]. В результате обработки экспертных оценок и построения диаграммы Парето выявлены четыре значимых фактора, в большей степени влияющих на величину арендной платы земель лесного фонда: лесные склады, автомобильные, лесовозные и лесохозяйственные дороги.

Определение интегрального показателя развитости инфраструктуры. В качестве величины, характеризующей развитость лесной инфраструктуры, выбран интегральный показатель качества, включающий в себя совокупность значимых факторов инфраструктуры. Интегральный показатель качества объекта и относительный показатель свойства K_j принимают значения от 0 до 1 [25, 29]. Интегральный показатель объекта j рассчитывается по формуле:

$$\text{ИП}_j^k = \sum K_{ij} G_i = \sum \frac{q_{ij} - q_{\text{бп}}}{q_{\text{эт}} - q_{\text{бп}}} G_i,$$

Рис.5. Расчет плотности дорожной сети по геометрической сетке, м/га

где K_{ij} – относительный показатель свойства i объекта j ; G_i – вес или показатель важности свойства i ; $q_{\text{ср}}$ – абсолютный показатель свойства i у объекта j ; $q_{\text{бр}}$ – браковочное значение показателя; $q_{\text{эт}}$ – эталонное значение показателя.

Расчет значений, необходимых для получения интегрального показателя, представлен в табл.1.

Таблица 1

Значения факторов, необходимых для расчета интегрального показателя

Значения	Номер изохроны лесных складов	Плотность автодорог, м/га	Плотность лесохозяйственных дорог, м/га	Плотность лесовозных дорог, м/га
min	1,00	0,00	0,00	0,00
max	10,00	2919,55	2276,53	1072,07
$q_{\text{ср}}$	3,30	352,05	599,65	227,12
$q_{\text{бр}}$	10,00	0,00	0,00	0,00
$q_{\text{эт}}$	1,00	2919,55	2276,53	1072,07
G_i	0,15	0,50	0,12	0,22
Сумма G_i		1		

Сумма весов свойств G_i должна равняться 1, а их расчет проводился с учетом стремления коэффициента детерминации к 1 ($R^2 \rightarrow 1$). Браковочное значение показателя $q_{\text{бр}}$ – величина, при которой признак будет в наименьшей степени оказывать влияние на объект исследования, веса факторов определены методом анализа иерархии. Для объединения различных характеристик в одну комплексную величину необходимо, чтобы входящие в модель значения критериев оценки были нормированы, поскольку использование переменных без преобразования может привести к тому, что классификацию будут определять критерии, имеющие наибольший разброс значений [25, 29].

На основе нормированных значений и весовых коэффициентов критериев для выделов, участвующих в анализе, были рассчитаны значения интегрального показателя развитости инфраструктуры, которые находятся в интервале от 0 до 1. Для корректной работы с полученным

Рис.6. Определение числа кластеров посредством реализации алгоритма Elbow

Рис.7. Дифференциация территории Балтийского участкового лесничества по уровням развитости лесной инфраструктуры

1 — верхние/нижние склады; 2 — лесовозная дорога;
 3 — автомобильная дорога; 4 — населенные пункты; 5 — гидрография;
 6 — кластер 1; 7 — кластер 2; 8 — кластер 3

коэффициентом необходимо объединить однородные элементы. Это можно сделать при помощи кластеризации данных, разделяющей совокупности информации на однородные группы. Существуют несколько алгоритмов кластеризации: иерархический, s -средних, выделение связанных компонент, послойная кластеризация, k -средних, минимальное покрывающее дерево [7]. Наиболее эффективным для разбиения интегрального показателя из алгоритмов кластеризации является метод k -средних, в отличие от остальных дающий конкретный результат. Например, в методе s -средних наблюдения могут в равной степени относиться как к одному, так и к другому кластеру, метод покрывающего дерева подразумевает сложный алгоритм вычислений. Кроме того, метод средних имеет простую интерпретацию.

Одной из задач кластерного анализа является подбор оптимального значения k , имеющий несколько версий решения [7]. Метод локтя (elbow method) рассматривает характер изменения выброса W с увеличением числа групп k . При объединении всех n наблюдений в одну группу получается наибольшая внутрикластерная дисперсия, которая будет снижаться до 0 при $k \rightarrow n$. На определенном этапе снижение дисперсии замедляется — на графике это происходит в точке, называемой локтем. Автоматически точка локтя, соответствующая оптимальному значению k , вычисляется по алгоритму «Knee point detection algorithm» [36]. Алгоритм определяет максимальную точку кривизны, которая помечается пунктирной линией. Для определения максимальной точки кривизны была использована библиотека языка программирования Python. На вход в скрипт подавалась таблица Excel, содержащая данные об

интегральном показателе. На рис.6, по оси y представлен общий групповой разброс (безразмерная величина), по оси x — количество кластеров, на вспомогательной оси показано время обучения для n -го количества кластеров. Как видно из графика, точка локтя появляется при наличии трех кластеров со временем обучения 0,412 с. Таким образом, путем кластеризации k -средних были получены три уровня (кластера) развитости лесной инфраструктуры. После этого принадлежность выделов к группам была зафиксирована в геоинформационном слое, что позволило создать карту с градуированным оформлением по дискретным значениям кластера (рис.7).

Моделирование арендной платы земель лесного фонда и расчет кадастровой стоимости. Моделирование расчета арендной платы за пользование лесными землями происходило с учетом интегрального показателя (коэффициента развитости инфраструктуры лесного фонда) и таксационной ценности древостоя. На первом этапе регрессионного моделирования была проанализирована среда объектов оценки [2]. В соответствии с теоретической базой о землях лесного фонда и анализом среды был составлен список ценообразующих факторов: интегральный показатель, характеризующий развитость инженерной инфраструктуры на выделах, а также удельный показатель таксационной ценности земельного участка, выражающийся в стоимости лесного массива на 1 га площади. В качестве результирующей переменной выбрано значение арендной ставки за 1 м², полученное в результате анализа лесных аукционов (рыночных данных), что обуславливает отказ от необходимости включения в число факторов значения площади участка. Задача регрессионного анализа в сфере оценки недвижимости состоит в обозначении меры влияния совокупности переменных, представляющих собой ценообразующие факторы, на результирующую величину, а также анализ их влияния по отдельности. В качестве результата предстает регрессионная модель, позволяющая при известных значениях ценообразующих факторов получить результирующую величину. Для оценки близости двух рассматриваемых величин (интегрального показателя и таксационной ценности участка) применялся коэффициент корреляции

$$r_{yx} = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\delta_x \delta_y},$$

где $\bar{x}, \bar{y}$ – средние значения признаков; δ_x, δ_y – оценки среднеквадратических отклонений.

Влияние фактора таксационной ценности древостоя на результирующий показатель арендной ставки за 1 руб./м² производится при помощи расчета коэффициента корреляции, а также анализа диаграммы распределения (рис.8).

Дополнительно к визуальному анализу диаграмм рассеивания рассчитан коэффициент корреляции между расчетной величиной (арендной ставкой руб./м²) и анализируемым фактором таксационной ценности: $r_{yx} = 0,72$. Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

- диаграмма, представленная на рис.8 указывает на наличие линейной зависимости таксационной ценности лесного участка от арендной ставки;
- коэффициент корреляции $r_{yx} = 0,72$ показывает наличие прямой связи между арендной ставкой земельного участка и таксационной ценностью 1 м², по шкале Чеддока связь является сильной;
- значение коэффициента корреляции не идет вразрез с представлениями о ценообразовании земельных участков лесного фонда, следовательно показатель таксационной ценности увеличивает значение арендной ставки;
- наблюдаемый разброс значений не является критичным, причиной разброса может быть то, что в модели не учтены показатели ценообразующих факторов, по отдельности не оказывающие существенного влияния на величину арендной ставки, поэтому он не характеризуется присутствием выброса;

По результатам оценки тесноты связи между арендной ставкой и каждым ценообразующим фактором формируется представление о существенности влияния всех параметров на результирующий показатель, что позволяет включить их в регрессионную модель. Логическая интерпретация полученных коэффициентов модели должна соответствовать позиции, диктуемой сложившимися рыночными условиями. Значения коэффициентов позволяют показать разницу между двумя объектами на предмет влияния рассматриваемой величины на размер арендной ставки, исходя из этого можно сделать следующие выводы:

Рис.8. Зависимость фактора «Таксационная ценность» древостоя от величины арендной ставки

- при отсутствии влияния рассматриваемых факторов базовая арендная ставка составит 0,49 руб./га;
- при равном влиянии иных факторов повышение показателя таксационной ценности на 1 руб. за 1 га увеличивает удельную арендную ставку на 0,016 руб./м²;
- при равном влиянии иных факторов повышение интегрального показателя развитости инфраструктуры на одну единицу увеличивает удельную арендную ставку на 1,012 руб./м².

В результате построения линейной модели уравнение регрессии приняло следующий вид:

$$y = 0,49 + 0,016x_1 + 1,012x_2,$$

где y – результирующая переменная, арендная ставка, руб./м²; x_1 – таксационная ценность древо-стоя, руб./м²; x_2 – интегральный показатель развитости инфраструктуры лесного фонда;

- при отсутствии влияния рассматриваемых факторов логарифм базовой арендной ставки составит –1,05 руб./м². Такое значение лишено экономического смысла, так как цена за землю не может принимать отрицательное значение;
- при равном влиянии иных факторов повышение показателя логарифма таксационной ценности на 1 руб./м² увеличивает логарифм удельной арендной ставки на 0,44 руб./м².
- при равном влиянии иных факторов повышение интегрального показателя развитости инфраструктуры на одну единицу увеличивает логарифм удельной арендной ставки на 0,226 руб.

Для определения вида функциональной зависимости показатели качества линейной и показательной модели были сведены в табл.2.

Таблица 2

Сравнение параметров качества моделей расчета арендной ставки лесных земель

Показатель качества	Модель линейная	Модель показательная
Уравнение модели	$y = 0,49 + 0,016x_1 + 1,014x_2$	$\ln y = -1,05 + 0,44\ln x_1 + 0,226x_2$
Коэффициент детерминации R^2	0,81	0,73
Скорректированный коэффициент детерминации $R^2_{\text{скор}}$	0,80	0,72
Результаты проверки значимости уравнения регрессии в целом с помощью F -критерия	Статистически значима	Статистически значима
Результаты проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии с помощью t -критерия	Коэффициенты при всех переменных статистически значимы	Коэффициенты при всех переменных статистически значимы
Коэффициент вариации результирующего показателя, %	11,61	12,05
Средняя ошибка аппроксимации, %	1,46	7,82

Линейная модель оказалась наиболее предпочтительной, так как имеет большее значение коэффициента детерминации и меньшие значения коэффициента вариации и средней ошибки аппроксимации, чем показательная модель. Также анализ остатков не выявил у линейной модели наличие каких-либо зависимостей распределения отклонения в отличие от показательной модели [4, 6, 28]. Для 146 объектов оценки был рассчитан удельный показатель арендной ставки. После чего осуществлен переход от удельного показателя арендной ставки к арендной стоимости за всю площадь объекта оценки. Стоимость аренды рассчитывается следующим образом:

$$CA = AC \cdot S,$$

где AC – арендная ставка, руб./м²; S – площадь лесного участка, м².

Определение кадастровой стоимости лесных земель с учетом степени развитости их инфраструктуры. Для перехода от арендной ставки к кадастровой стоимости необходимо реализовать доходный подход – метод капитализации земельной ренты (арендной платы) [47, 48]. Величина ставки капитализации для вида использования лесов, отходничества и рыболовства на 2020 г. принимает значение 4,2 % [23]. Таким образом, кадастровая стоимость объекта недвижимости рассчитывается по формуле:

$$КС = СА/К_к.$$

где K_k – коэффициент капитализации, % (4,2 %).

Для оценки распределения полученных стоимостных величин участков оценки построена карта оценочного зонирования лесных участков по удельному показателю кадастровой стоимости (рис.9).

Заключение. В результате исследования разработана методика кадастровой оценки лесных земель с учетом степени развитости их инфраструктуры. Данная методика может быть применена для определения платы за пользование лесными ресурсами, определения эффективности проектов заготовки и переработки леса, оценки экологического ущерба и др. В результате оценки инфраструктуры лесного фонда разработан алгоритм оценки, составлена карта и определен интегральный показатель (коэффициент) развитости инфраструктуры, разделяющий территорию лесничества на три уровня (кластера). Разработана модель расчета арендной ставки лесных земель с учетом интегрального показателя развитости инфраструктуры и таксационной ценности насаждений, по которой определена величина арендной стоимости лесных земель, данная модель необходима для определения кадастровой стоимости. В результате применения доходного подхода и метода капитализации земельной ренты (арендной платы) получен удельный показатель кадастровой стоимости лесных земель с учетом степени развитости их инфраструктуры. По карте оценочного зонирования можно сделать следующие выводы:

- выделы с наибольшими значениями удельного показателя кадастровой стоимости концентрируются возле населенных пунктов, что объясняется развитостью инфраструктуры в местах проживания людей;

- в северо-западной части рассматриваемой территории с низким показателем развитости инфраструктуры наблюдается вторая ценовая зона, что объясняется высокой таксационной ценностью данной территории с ценными породами.

Таким образом, распределение удельного показателя кадастровой стоимости согласуется с экономическим представлением о ценообразовании лесных участков. При сопоставлении с предыдущими результатами кадастровой оценки сформированы следующие заключения:

- в среднем величина кадастровой стоимости, рассчитанная по предложенной методике, больше значения текущей кадастровой стоимости; удельный показатель кадастровой стоимости лесных земель сопоставим по значению с удельными показателями стоимости земель других категорий;

- результаты расчета кадастровой стоимости участков лесного фонда Балтийского участкового лесничества на основе полученных аналитических зависимостей показал, что сопоставимы с их рыночными ценами, то есть являются объективными. Установлено, что использование такого подхода к оценке кадастровой стоимости земель лесного фонда обеспечивает повышение объективности результатов поскольку опирается на реальные рыночные данные.

Рис.9. Дифференциация кварталов по кадастровой стоимости с учетом инфраструктуры

1 – лесопромышленное предприятие; 2 – контора лесничества;
3 – верхние/нижние склады; 4 – грунтовая проселочная дорога;
5 – лесохозяйственная дорога; 6 – лесовозная дорога;
7 – автомобильная дорога

Разработанная методика кадастровой оценки лесных земель позволяет определить объективную величину арендной платы с учетом таксационных показателей и расположения участка аренды относительно объектов инфраструктуры, т.е. для недоступных участков лесного фонда арендная плата будет ниже. Это стимулирует создание объектов лесной инфраструктуры (лесных дорог, складов и др.) за счет средств арендатора. Удельный показатель кадастровой стоимости по данным государственного бюджетного учреждения равен 0,65 руб./м² [19, 21], данный показатель выше и в среднем составляет 179, руб./м², однако он близок к рыночным стоимостям, что соответствует одной из целей кадастровой оценки – сопоставимости кадастровой стоимости с рыночной. Несмотря на то, что стоимость лесных земель, полученная по новой методике, в разы меньше стоимости земель других категорий (например, стоимость соседнего участка категории земель населенных пунктов составляет 715 руб./м²), полученный удельный показатель стал сопоставим с землями других категорий. Очевидно, что природный ресурс, являющийся национальным богатством страны и выполняющий многоцелевую функцию, не может стоить копейки, тем более, что кадастровой оценке подлежит не только лес, произрастающий на участке в момент оценивания, но и сама земля. В ходе исследования был определен интегральный показатель (коэффициент развитости) инфраструктуры, позволяющий провести сравнительную характеристику территории по степени развитости лесной инфраструктуры, который может быть использован для оценки территорий в целях принятия комплексных решений и мер, направленных на развитие тех или иных лесных участков, а также при переводе земель лесного фонда в земли других категорий для строительства различных объектов.

Развитость современной транспортной и логистической инфраструктуры в лесном хозяйстве повышает развитие лесопромышленного комплекса. Результаты, полученные при использовании данной методики, могут являться основой для принятия решений в области развития лесного сектора России, совершенствования уровня развитости инфраструктуры лесного фонда и бережного отношения к национальному ресурсу, которым является лес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алгоритм массовой кадастровой оценки лесных земель по таксационным показателям насаждений / А.Ю.Романчиков, В.Ф.Ковязин, Н.И.Животыгина и др. // Известия Томского политехнического университета. 2020. Т. 331. № 11. С. 108-116. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2890
2. Артеменкова И.Л. Европейские стандарты оценки 2012 / И.Л.Артеменкова, А.И.Артеменков, Г.И.Микерин. М: Саморегулируемая общероссийская общественная организация «Российское общество оценщиков», 2014. Ч. 1. 331 с.
3. Боголюбова А.А. Технология автоматизированного дешифрирования различными методами аэрофото- и космических снимков земного покрова особо охраняемых природных территорий // Записки Горного института. 2012. Т. 199. С. 269-275.
4. Грибовский С.В. К проекту закона о кадастровой оценке / С.В.Грибовский, М.В.Иголкин // Имущественные отношения в РФ. 2015. № 11 (170). С. 6-12.
5. Зарубежный опыт в области лесных отношений и оценки значения зеленых насаждений / А.В.Грязькин, Н.В.Ковалев, А.Б.Базаев, Х.М.Хетагуров // Экологические проблема Арктики и северных территорий: Межвузовский сборник научных трудов. 2014. Вып. 17. С. 9-15.
6. Киселева В.А. Анализ достаточности и достоверности рыночной информации в малых и средних городах Северо-Западного округа для оценки возможности применения статистического метода определения кадастровой стоимости земель / В.А.Киселева, О.Ю.Лепихина // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 217-221.
7. Классификация, регрессия, алгоритмы Data Mining с использованием R. URL: https://ranalytics.github.io/data-mining/101-Partitioning-Algos.html#sec_10_1 (дата обращения 07.03.2021).
8. Ковязин В.Ф. Проблема кадастровой оценки лесных земель с учетом инфраструктуры лесного фонда / В.Ф.Ковязин, А.Ю.Романчиков // Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 98-104. DOI: 10.25515/PMI.2018.1.98
9. Лепихина О.Ю. Вариативный учет ценообразующих факторов при кадастровой оценке земель (на примере города Санкт-Петербург) / О.Ю.Лепихина, Е.А.Правдина // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 2. С. 65-74.
10. Моделирование экономической доступности лесных ресурсов с использованием регрессионного анализа / П.Т.Воронков, А.П.Воронков, А.Н.Белов и др. // Лесохозяйственная информация. 2009. № 1-2. С. 7-13.
11. Моисеева Е.Е. Формирование механизма оценки экономической доступности лесных ресурсов при аренде участков лесного фонда (на примере Красноярского края): Автореф. дис. ... канд. экон. наук. Красноярск: Сибирский государственный технологический университет, 2002. 9 с.
12. Метод временной экстраполяции рыночных данных для кадастровой оценки земель в условиях малоразвитого рынка / Е.Н.Быкова, Я.А.Волкова, М.А.Сулин и др. // Геодезия и картография. 2020. Т. 965. № 11. С. 40-49. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-965-11-40-49

13. О признании не подлежащим применению Приказа Федеральной службы земельного кадастра России от 17 октября 2002 г. № П/336 «Об утверждении Методики государственной кадастровой оценки земель лесного фонда Российской Федерации»: Приказ Минэкономразвития № 96 от 15.03.2010 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98530/ (дата обращения 10.01.2021).
14. О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности: Постановление Правительства РФ от 22.05.2007 № 310 (ред. от 06.01.2020). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68813/0043cdfb5d4efbdbad6df1ffa20a6d884e10f16/ (дата обращения: 10.01.2021).
15. Об утверждении методики экономической оценки лесов: Приказ Федеральной службы лесного хозяйства России от 10.03.2000 № 43. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_27752/f87cab52f99e5dddead9d977f71edb78197803c0/ (дата обращения: 10.01.2021).
16. Об утверждении методических указаний о государственной кадастровой оценке: Приказ Министерства экономического развития РФ от 12.05.2017 № 226 (ред. 09.09.2019). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_217405/ (дата обращения: 10.01.2021).
17. Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 11 февраля 2021 года № 312-р. URL: <http://www.consultant.ru/search/?q=%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5+%D0%BE%D1%82+11+%D1%84%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8F+2021+%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0+%E2%84%96312-%D1%80/> (дата обращения 07.03.2021).
18. Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 26.09.2013 № 1724-р. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_152506/ (дата обращения 07.03.2021).
19. Отчет № 01-к/2020 от 02.11.2020 об итогах государственной кадастровой оценки объектов недвижимости – земельных участков категорий земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земель для обеспечения космической деятельности, земель обороны, безопасности и земель иного специального назначения, земель особо охраняемых территорий и объектов, земель лесного фонда Ленинградской области. Ленинградский областной комитет по управлению государственным имуществом государственное бюджетное учреждение Ленинградской области «Ленинградское областное учреждение кадастровой оценки» (ГБУ ЛО «ЛенКадОценка»), 2020. 591 с.
20. Пивоваров К.Н. Использование многокритериального подхода и методов нечеткой математики для оценки условий освоения месторождений арктических морей на примере юго-восточной части Баренцева моря / К.Н.Пивоваров, А.Б.Золотухин // Арктика: экология и экономика. 2018. № 3 (31). С. 100-111. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-100-111
21. Получение сведений из Фонда данных государственной кадастровой оценки URL: http://rosreestr.ru/wps/portal/cc_ib_svedFDGKO (дата обращения 07.01.2017).
22. Романчиков А.Ю. Кадастровая оценка покрытых древесной растительностью лесных земель таежной зоны Северо-Запада Российской Федерации при многоцелевом использовании их ресурсного потенциала территорий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб: Санкт-Петербургский горный университет. 2017. 231 с.
23. Российский статистический ежегодник 2020. М.: Федеральная служба государственной статистики, 2020. 700 с.
24. Сапожникова Ю.И. Технология обработки парных сравнений при проведении экспертной оценки / Ю.Н.Корнилов, Ю.И.Сапожникова // Записки Горного института. 2013. Т. 204. С. 171-174.
25. Сеньковская К.Э. Кадастровая оценка садовых, огородных и дачных земель с учетом зон с особыми условиями использования территорий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб: Санкт-Петербургский горный университет. 2018. 22 с.
26. Стратегия долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. URL: https://economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf (дата обращения 18.04.2021).
27. Третьяков А.Г. Экономическая доступность лесных ресурсов: факторы, ее определяющие, и достоверность оценки // Лесотехнический журнал. 2015. № 1(17). С. 274-287. DOI: 10.12737/11285
28. Чернецкая Ю.В. Совершенствование методики расчета кадастровой стоимости земельного участка с учетом обременений и ограничений на землю для целей налогообложения // Записки Горного института. 2012. Т. 196. С. 105-109.
29. Шабеева Ю.И. Кадастровая оценка земель индивидуальной жилой застройки с учетом дифференциации городской территории по престижности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2015. 20 с.
30. A heuristic approach to automated forest road location / D.Meignan, J.-M.Frayret, G.Pesant, B.Mathieu // Canadian Journal of Forest Research. 2012. Vol. 42. № 12. P. 2130-2141. DOI: 10.1139/x2012-140
31. Amacher G.S. Economics of Forest Resources / G.S.Amacher, M.Ollikainen, E.Koskela // Massachusetts: The MIT Press. 2009. 320 p.
32. Baltyzhakova T.I. Analysis of urban territory in terms of accessibility to social objects / T.I.Baltyzhakova, E.S.Bryzhataya // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1333. Iss. 3. № 032005. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032005
33. Bont L.G. Concurrent optimization of harvesting and road network layouts under steep terrain / L.G.Bont, H.R.Heinimann, R.L.Church // Annals of Operations Research. 2015. Vol. 232(1). P. 41-64. DOI: 10.1007/s10479-012-1273-4
34. Brazee J.R. Optimal Forest Rotation with Multiple Product Classes / R.J.Brazee, P.Dwivedi // Forest Science. 2015. Vol. 61. Iss. 3. P. 458-465. DOI: 10.5849/forsci.13-207
35. Bykova E.N. Land Plot Selection Rationale for the Location of Linear Facilities / E.N.Bykova, I.G.Gerasimova // Land. 2019. Vol. 4. Iss. 8. P. 1-17. DOI: 10.3390/land8040067
36. Elbow Method. URL: <https://www.scikit-yb.org/en/latest/api/cluster/elbow.html#elbow-method> (дата обращения 21.03.2021).
37. Heldak M. Construction of public roads at the meeting point of different legislation systems / M.Heldak, E.Bykova // Journal of Ecological Engineering. 2017. Vol. 18. Iss. 6. P. 86-94. DOI: 10.12911/22998993/76217

38. *Heinimann H.R.* Forest Road Network and Transportation Engineering-State and Perspectives // Croatian Journal of Forest Engineering. 2017. Vol. 38. Iss. 2. P. 155-173.
39. *Kitcenko A.A.* Modern condition and prospects for the development of forest infrastructure to improve the economy of nature management / A.A.Kitcenko, V.F.Kovyazin, A.Y.Romanchikov // Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues. 2019. P. 200-204. DOI: [10.1201/9781003017226-28](https://doi.org/10.1201/9781003017226-28)
40. *Kolesnik O.* The calculating the progressive collapse problem in the light of the existing regulatory framework of the Russian Federation / O.Kolesnik, D.Kolesnik // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. Iss. 2. № 022048. DOI: [10.1088/1757-899X/698/2/022048](https://doi.org/10.1088/1757-899X/698/2/022048)
41. *Kopylova N.S.* Geographic information modeling of Econet of Northwestern Federal District territory on graph theory basis / N.S.Kopylova, A.A.Bykova, D.N.Beregovoy // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1015. Iss. 3. № 032063. DOI: [10.1088/1742-6596/1015/3/032063](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032063)
42. *Medvedev S.* Priority areas of research in the development of the timber industry complex in Russia: technical and logistics aspect / S.Medvedev, A.Mokhirev, T.Rjabova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 574. № 012050. DOI: [10.1088/1755-1315/574/1/012050](https://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012050)
43. *Niskanen A.* Economic accessibility of forest resources in Northwest Russia / A.Niskanen, A.Petrov, G.Filoushkina // EFI Proceedings. 2004. Vol. 48. P. 45-52. DOI: [10.22004/ag.econ.198346](https://doi.org/10.22004/ag.econ.198346)
44. *Nguyen T.H.* Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests / T.H.Nguyen, K.Kanemoto // Nature Ecology & Evolution. 2021. Vol. 5. P. 845-853. DOI: [10.1038/s41559-021-01417-z](https://doi.org/10.1038/s41559-021-01417-z)
45. *Preston L.* The valuation of agricultural land for rating purposes in Australia: methodology and administration // The Farmers Club. 2011. P. 1-47.
46. *Roşu D.C.* Some aspects of cadastral documentation necessary registration agricultural land in land book / D.C.Roşu, V.Ci-olac, O.N.Colţan // Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology. 2012. Vol. 20 (2). P. 231-233.
47. *Rybkina A.M.* Analysis of the application of deterministic interpolation methods for land cadastral valuation of low-rise residential development of localities / A.M.Rybkina, P.M.Demidova, V.A.Kiselev // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. Iss. 21. P. 10834-10840.
48. *Rybkina A.M.* Working-out of the geostatistical model of mass cadastral valuation of Urban lands evidence from the city Vsevolozhsk (Russia) / A.M.Rybkina, P.M.Demidova, V.A.Kiselev // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. Iss. 24. P. 11631-11638.
49. *Stenger A.* Valuing environmental goods and services derived from the forests / A.Stenger, P.Harou, S.Navrud // Journal of Forest Economics. 2009. Vol. 15. P. 1-14. DOI: [10.1016/j.jfe.2008.03.001](https://doi.org/10.1016/j.jfe.2008.03.001)

Авторы: В.Ф.Ковязин, д-р биол. наук, профессор, vfkedr@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3118-8515> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), А.А.Киценко, аспирант, kna1994@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0114-3252> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), Сейед Омид Реза Шобайри, канд. техн. наук, Omidshobeyri214@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6528-8653> (Исследовательский центр дистанционного зондирования лесного хозяйства и информационной инженерии CSUFT, Чанша, Китай).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 13.03.2021.

Статья принята к публикации 21.05.2021.