

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.73>

ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЮГА СИБИРИ

Научная статья

Вайс А.А.¹, Вараксин Г.С.², Козлов Н.В.^{3*}, Репях К.К.⁴

¹ORCID : 0000-0003-4965-3670;

^{1,3} Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация

^{2,4} Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (nikitos.kozloff2015[at]gmail.com)

Аннотация

Целью исследования являлась разработка метода прогнозирования жизненного состояния деревьев в полезащитных полосах Юга Сибири.

Закладка пробных площадей выполнялась на территориях южной части Красноярского края, Республик Хакассия и Тыва. Всего было обследовано 27 пробных площадей. Состояние деревьев оценивалось на основе шкалы санитарного состояния действующего на данный момент времени.

В основу прогнозирования был положен метод линейных регрессий. Предложенные уравнения определяют состояние деревьев с точностью 40,2-84,3%. Для окончательной оценки состояния деревьев используются дополнительные признаки, которые могут корректировать прогнозируемое в пределах балла (± 1) оценочной шкалы.

Разработанный метод прогнозирования позволяет устанавливать жизненное состояние деревьев в ЗЛН юга Сибири, учитывая породу, возраст, диаметр на высоте груди и набор дополнительных признаков.

Ключевые слова: прогноз, защитные насаждения, жизненное состояние деревьев, регрессионный анализ.

A PROGNOSIS OF THE STATE OF PROTECTIVE FOREST STRIPS IN SOUTHERN SIBERIA

Research article

Vais A.A.¹, Varaksin G.S.², Kozlov N.V.^{3*}, Repyakh K.K.⁴

¹ORCID : 0000-0003-4965-3670;

^{1,3} M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

^{2,4} Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (nikitos.kozloff2015[at]gmail.com)

Abstract

The aim of the study was to develop a method for predicting the vitality of trees in protective forest strips in southern Siberia.

Sample plots were laid in the territories of the southern part of Krasnoyarsk Krai, Khakassia and Tyva Republics. A total of 27 sample plots were examined. The condition of the trees was evaluated on the basis of the scale of sanitary condition of the existing at the time.

The prognosis was based on the method of linear regressions. The proposed equations determine tree condition with an accuracy of 40.2-84.3%. For the final tree condition evaluation, additional attributes are used that can adjust the predicted within a score (± 1) of the estimation scale.

The developed forecasting method makes it possible to establish the vital state of trees in the PFS in southern Siberia, taking into account species, age, diameter at breast height and a set of additional traits.

Keywords: prognosis, protective plantations, tree vitality, regression analysis.

Введение

В настоящее время одной из приоритетных задач Рослесхоза в научно-исследовательской деятельности является прогнозирование состояния лесов [1]. Защитные лесные полосы выполняют комплекс хозяйственных и экологических задач. Для сохранения этих насаждений необходимо увеличить их долговечность. Эту проблему можно решить, в том числе и через улучшение состояния деревьев в лесных полосах. Академик РАСХН К. Н. Кулик указывал на то, что около 1,4 млн. га защитных лесных насаждений в РФ нуждаются в срочных лесохозяйственных видах ухода [2]. Прогноз состояния деревьев позволяет оценить перспективы роста и развития древесных растений и насаждений в целом.

На сегодняшний день развиваются дистанционные методы оценки состояния защитных насаждений [3], [6], [7]. Дистанционное зондирование дополняет полевые данные и облегчает прогнозирование, необходимое для управления лесами [4], [5]. Так В. Г. Юфеев констатирует, что данные дистанционного зондирования позволяют оценить сохранность, а также уровень деградации лесных полос [6]. А. А. Матвеева отмечает, что по космоснимкам можно определить многие детальные лесоводственно-мелиоративные показатели защитных лесных насаждений: конструкцию полос, число рядов в полосах и расстояние между рядами, состав пород и число деревьев (кустов), высоту насаждений и диаметр ствола или кроны, полноту и сомкнутость полога в полосах и рядах и т. д. [7].

Использование цифровых технологий позволяет с помощью метода распознавания образов определять текущее состояние защитных лесных насаждений [8].

Методика исследований

Целью исследования являлась разработка метода прогнозирования жизненного состояния деревьев в полезащитных полосах Юга Сибири.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Разработка линейных уравнений для оценки состояния деревьев;
- Выделение наиболее значимых факторов для бальной оценки жизненного состояния;
- Разработка метода прогноза состояния деревьев в полезащитных полосах.

Закладка пробных площадей выполнялась в лесных полосах на территориях южной части Красноярского края, Республик Хакассия и Тыва. Всего было обследовано 27 пробных площадей. Состояние деревьев определялось на основе шкалы санитарного состояния, где числовыми значениями являются баллы, которые присваиваются деревьям по завершении расчетов, с исследуемой категорией санитарного состояния соответственно:

- 1 – здоровые (без признаков ослабления);
- 2 – ослабленные;
- 3 – сильно ослабленные;
- 4 – усыхающие;
- 5 – погибшие (свежий сухостой 5(а));
- 6 – погибшие (старый сухостой 5(г)) [9].

В каждом защитном лесном насаждении (ЗЛН) производился отбор модельных деревьев по 6-7 шт. в каждом ряду для замера совокупности морфологических признаков (диаметр на высоте груди ($d_{1,3}$), высота (Н), высота начала кроны (ННК), высота расположения по высоте максимального диаметра кроны (НМК), диаметр кроны вдоль полосы (ДКВП), диаметр кроны деревьев поперёк полосы (ДКРП)). Возраст древостоев на момент наблюдения менялся от 20 до 46 лет. Насаждения произрастали преимущественно на южных и обыкновенных чернозёмах, кроме этого на отдельных участках выявлено засоление и размещение на песчаных почвах. Ассортимент древесных пород следующий: Б – берёза повислая (*Betula pendula* Roth), В – вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), Л – лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), Т – тополь черный (*Populus nigra* L.). Защитные полосы представлены преимущественно однородными чистыми насаждениями. Однако встречались смешанные комбинации из вяза, тополя, а также совместный рост лиственницы, берёзы. Число рядов в полосах от 1 до 7. Полосы имели различную конструкцию (от ажурной до плотной).

Обработка исходного материала выполнялась с помощью электронной таблицы «Excel» и базы данных созданной в «Access». Основным методом обработки информации являлся статистический, который включал регрессионный анализ.

Для прогнозирования состояния деревьев в защитных лесополосах использовался линейный регрессионный анализ с выделением значимых факторов. В таблице 1 приведены линейные уравнения и оценки регрессий.

Таблица 1 - Параметры линейных регрессионных уравнений оценки состояния деревьев в ЗЛН юга Сибири

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.73.1>

Уравнение	Коэффициент корреляции	R ² , %	Стандартная ошибка	Критерий Фишера
$S_{лш}=3,91-0,22*N-0,33*DKMP$	0,63	40,2	0,66	48
$S_в=2,09-0,0005*N$	0,70	48,9	0,29	11
$S_в=4,39+0,15*d_{1,3}-0,58*DKBP-0,66*DKMP$	0,65	41,9	0,30	4
$S_{лл}=1,40+0,23*N_{МК}-0,28*МК$	0,79	62,8	0,34	12
$S_т=7,95+0,25*d_{1,3}-0,19*N-1,94*DKPP$	0,92	84,3	0,32	25

Примечание: $S_{лш}$ – состояние лиственницы в Ширинской степи; $S_в$ – состояние берёзы в Лесополосах; $S_в$ – состояние вяза в Лесополосах; $S_{лл}$ – состояние лиственницы в Лесополосах; $S_т$ – состояние тополя в Лесополосах; R^2 – коэффициент детерминации. Коэффициенты уравнений значимы, так как $p_i < 0.05$

Следует отметить, что таксационно-морфологические признаки деревьев и древостоев определяют их состояние на 40,2-84,3%. Уравнения достоверны по критерию Фишера ($F_{ф}>3$). Величина ошибки не превысила одного балла.

Данные массовой таксации позволили определить оценку состояния деревьев по ступеням толщины. В результате получены средневзвешенные значения состояния деревьев по категориям диаметров. С целью условного прогнозирования состояния деревьев построены и аппроксимированы связи состояния и диаметра на высоте груди (выравнивание нелинейной степенной функцией), а также накопленной частоты и диаметра на высоте груди (огива) (выравнивание полиномом n -порядка).

Условность прогноза обусловлена тем, что определяется среднее состояние дерева данной ступени толщины. Поэтому необходим набор дополнительных признаков для установления бальной оценки состояния. Вторая связь используется для вычисления % деревьев достигших данного диаметра (выявление % деревьев, имеющих i -состояние). В таблице 2 представлены регрессионные уравнения для оценки состояния и процента деревьев.

Таблица 2 - Уравнения прогноза состояния деревьев в ЗЛН

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.73.2>

Уравнение	R ²	Уравнение, %	R ²
<i>Лиственница (Ширинская степь)</i>			
$C=4,53*d_{1,3}^{-0,584}$	0,90	$\Sigma n=0,0095*d_{1,3}^4 - 0,409*d_{1,3}^3 + 5,46*d_{1,3}^2 - 17,11*d_{1,3} + 23,4$	0,99
<i>Лиственница (Соленоозёрск)</i>			
$C=8,87*d_{1,3}^{-0,801}$ (23 года)	0,53	$\Sigma n=-0,0001*d_{1,3}^6 + 0,01*d_{1,3}^5 - 0,36*d_{1,3}^4 + 5,98*d_{1,3}^3 - 49,16*d_{1,3}^2 + 192,45*d_{1,3} - 283,01$	0,99
$C=221,13*d_{1,3}^{-1,628}$ (42 года)	0,75	$\Sigma n=-9E06*d_{1,3}^6 + 0,0009*d_{1,3}^5 - 0,03*d_{1,3}^4 + 0,41*d_{1,3}^3 + 1,87*d_{1,3}^2 - 65,98*d_{1,3} + 307,36$	0,99
<i>Лесополосы (Республики Хакассия и Тыва)</i>			
$C_B=3E-5*d_{1,3}^5 - 0,002*d_{1,3}^4 + 0,053*d_{1,3}^3 - 0,67*d_{1,3}^2 + 3,79*d_{1,3} - 4,03$	0,53	$\Sigma n_B=0,0007*d_{1,3}^5 - 0,046*d_{1,3}^4 + 0,99*d_{1,3}^3 - 8,61*d_{1,3}^2 + 30,80*d_{1,3} - 33,68$	0,99
$C_B=10,375*d_{1,3}^{-0,654}$	0,74	$\Sigma n_B=0,0005*d_{1,3}^4 - 0,030*d_{1,3}^3 + 0,33*d_{1,3}^2 + 7,04*d_{1,3} - 12,97$	0,99
$C_L=7,069*d_{1,3}^{-0,508}$	0,43	$\Sigma n_L=0,0001*d_{1,3}^5 - 0,008*d_{1,3}^4 + 0,17*d_{1,3}^3 - 1,05*d_{1,3}^2 + 3,01*d_{1,3} - 2,47$	0,99
$C_T=16,43*d_{1,3}^{-0,675}$	0,71	$\Sigma n_T=9E-5*d_{1,3}^4 - 0,011*d_{1,3}^3 + 0,36*d_{1,3}^2 - 0,59*d_{1,3} + 0,61$	0,99

В последнее время для прогнозирования состояния деревьев используют дискриминантный анализ [9], [10]. Данный метод для достоверного прогноза требует набора максимального числа признаков, что не всегда можно обеспечить. В результате для прогнозирования состояния деревьев в защитных лесных полосах юга Сибири предлагается следующая последовательность.

На первом этапе измеряется диаметр ствола на высоте 1,3 метра, определяется среднее состояние дерева заданной породы, вычисляется процент деревьев от начального до конечного диаметра, выявляется % растений заданного диапазона диаметров. Затем с помощью дополнительных признаков устанавливается порода, возраст, уточняется состояние дерева (± 1 балл).

Пример. В качестве исходного объекта возьмем дерево лиственницы, произрастающее в условиях лесополос Хакассии и Тыва возраста 43 года с диаметром на высоте груди 12 см.

Моделирование.

$$C=7,069*d_{1,3}^{-0,508} \approx 2 \quad (1)$$

Процент деревьев ступени 12 см = 10,1-14,0 см.

$$n = \Sigma n_{14,0} - \Sigma n_{10,1} = 46,8 - 23,2 = 23,6\% \quad (2)$$

Как установлено выше, необходимо учитывать для данной породы и условий в качестве дополнительных признаков вертикальную структуру насаждения. Если дерево входит в первый ярус (превышает среднюю высоту), то прибавляется один балл (+1). В случае, когда дерево находится во втором ярусе – вычитается один балл (-1). В ситуации, когда дерево соответствует средней высоте, вычисленный балл оставляют без изменения.

Результат. Состояние дерева характеризуется как ослабленное (2 балла). Процент таких деревьев составляет 23,6%. Поскольку высота дерева соответствует средней, оценочный балл состояния оставляем без изменения.

Заключение

В основу прогнозирования был положен метод линейных регрессий. Полученные уравнения достоверно определяют состояние деревьев на 40,2-84,3%. Для окончательной констатации состояния деревьев используются дополнительные признаки, которые могут корректировать состояние растений в пределах балла (± 1) оценочной шкалы.

Разработанная система прогнозирования позволяет устанавливать состояние деревьев в ЗЛН юга Сибири, учитывая породу, возраст, диаметр на высоте груди и набор дополнительных признаков. Однако данный прогноз не предполагает полного представления о наличии фитопатологических, энтомологических и механических причинах заболеваний и повреждений древостоя, что требует отдельных исследований в данной области.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: офиц. текст: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2021 г. № 312-р. — М., 2021. — 131 с. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_377162/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/ (дата обращения: 10.02.2023)
2. Кулик К.Н. Состояние и перспективы защитного лесоразведения в РФ / К.Н. Кулик // Защитное лесоразведение в Среднем Поволжье: Мат. Всеросс. науч.-практ. конф. — Волгоград: ВНИАЛМИ, 2005. — 158 с.
3. Родимцева А.В. Дистанционная и лесоводственно-мелиоративная оценка полезащитных лесных полос Уралло-Сакмарского междуречья / А.В. Родимцева, А.П. Несварт // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2017. — 6(68). — с. 73-77.
4. Massey R. Remote Sensing Tools for Monitoring Forests and Tracking Their Dynamics / R. Massey, L.T. Berner, A.C. Foster et al. // Boreal Forests in the Face of Climate Change. Advances in Global Change Research / Ed. by M.M. Girona, H. Morin, S. Gauthier et al. — 2023. — Vol 74. — DOI: 10.1007/978-3-031-15988-6_26
5. Vepakomma U. Remote Sensing at Local Scales for Operational Forestry / U. Vepakomma, D. Cormier, L. Hansson et al. // Boreal Forests in the Face of Climate Change. Advances in Global Change Research / Ed. by M.M. Girona, H. Morin, S. Gauthier et al. — 2023. — Vol 74. — DOI:10.1007/978-3-031-15988-6_27
6. Юферев В.Г. Оценка деградации полезащитных лесных насаждений по материалам космосъемки / В.Г. Юферев // Научно-аграрный журнал. — 2018. — 1(102). — с. 23-25.
7. Матвеева А.А. Дистанционная оценка современного состояния защитных лесных насаждений вдоль Приволжской железной дороги / А.А. Матвеева // Экономика развития региона: проблемы, поиски, перспективы. — 2010. — 11. — с. 475-484.
8. Олейникова К.А. Применение метода распознавания образов для вычисления оценок состояния защитных лесных полос / К.А. Олейникова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. — 2018. — 2(50). — с. 106-112.
9. Правила санитарной безопасности в лесах: офиц. текст: Утверждены постановлением правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года № 2047. — М., 2020. — 17 с. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313?marker=6540IN> (дата обращения: 10.02.2023)
10. Шарый М.А. Хвойные породы в молодом возрасте / М.А. Шарый. — Красноярск: КГУ, 1994. — 208 с.
11. Абаимов А.П. Оценка и прогноз послепожарного состояния лиственницы гмелина на мерзлотных почвах Средней Сибири / А.П. Абаимов, С.Г. Прокушкин, В.Г. Суховольский и др. // Лесоведение. — 2004. — 2. — с. 3-11.
12. Неповинных А.Г. Прогнозирование строения и роста сосняков Красноярской лесостепи: автореф. ... канд. с-х. наук / Неповинных Артем Геннадьевич. — Красноярск: СибГТУ, 2009. — 20 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossijskoj Federacii do 2030 goda [Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030]: official. text: approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated February 11, 2021 No. 312-r. — М., 2021. — 131 p. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_377162/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/ / (accessed: 10.02.2023). [in Russian]

2. Kulik K.N. Sostoyanie i perspektivy zashchitnogo lesorazvedeniya v RF [The State and Prospects of Protective Afforestation in the Russian Federation] / K.N. Kulik // Zashchitnoe lesorazvedenie v Srednem Povolzh'e [Protective Afforestation in the Middle Volga region]: Mat. All-Russian Scientific and Practical Conference. — Volgograd: VNIALMI, 2005. — 158 p. [in Russian]
3. Rodimtseva A.V. Distantionnaya i lesovodstvenno-meliorativnaya otsenka polezoprochitnykh lesnykh strep Urallo-Sakmarskogo mezhdurechya [Remote and Forestry-Meliorative Assessment of Forest Protection Zones of the Ural-Sakmarsky Interfluve] / A.V. Rodimtseva, A.P. Nesvart // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of Orenburg state Agrarian University]. — 2017. — 6(68). — p. 73-77. [in Russian]
4. Massey R. Remote Sensing Tools for Monitoring Forests and Tracking Their Dynamics / R. Massey, L.T. Berner, A.C. Foster et al. // Boreal Forests in the Face of Climate Change. Advances in Global Change Research / Ed. by M.M. Girona, H. Morin, S. Gauthier et al. — 2023. — Vol 74. — DOI: 10.1007/978-3-031-15988-6_26
5. Vepakomma U. Remote Sensing at Local Scales for Operational Forestry / U. Vepakomma, D. Cormier, L. Hansson et al. // Boreal Forests in the Face of Climate Change. Advances in Global Change Research / Ed. by M.M. Girona, H. Morin, S. Gauthier et al. — 2023. — Vol 74. — DOI:10.1007/978-3-031-15988-6_27
6. Yuferev V.G. Ocenka degradacii polezashchitnykh lesnykh nasazhdenij po materialam kosmos"emki [Assessment of the Degradation of Protective Forest Stands Based on the Materials of Space Photography] / V.G. Yuferev // Nauchno-agronomicheskij zhurnal [Scientific and Agronomic Journal]. — 2018. — 1(102). — p. 23-25. [in Russian]
7. Matveeva A.A. Distancionnaya ocenka sovremennogo sostoyaniya zashchitnykh lesnykh nasazhdenij vdol' Privolzhskoj zheleznoj dorogi [Remote Assessment of the Current State of Protective Forest Plantations Along the Volga Railway] / A.A. Matveeva // Ekonomika razvitiya regiona: problemy, poiski, perspektivy [The Economy of the Region's Development: Problems, Searches, Prospects]. — 2010. — 11. — p. 475-484. [in Russian]
8. Oleynikova K.A. Primenenie metoda raspoznavaniya obrazov dlya vychisleniya ocenok sostoyaniya zashchitnykh lesnykh polos [Application of the Pattern Recognition Method for Calculating Estimates of the State of Protective Forest Strips] / K.A. Oleynikova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: Science and Higher Professional Education]. — 2018. — 2(50). — p. 106-112. [in Russian]
9. Pravila sanitarnoj bezopasnosti v lesah: ofic. tekst: Utverzhdeny postanovleniem pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 9 dekabrya 2020 goda № 2047 [Rules of Sanitary Safety in Forests: official. text: Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of December 9, 2020 No. 2047]. — M., 2020. — 17 p. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313?marker=6540IN> (accessed 10.02.2023) [in Russian]
10. Shary M.A. Hvojnye porody v molodom vozraste [Coniferous Rocks at a Young Age] / M.A. Shary. — Krasnoyarsk: KSU, 1994. — 208 p. [in Russian]
11. Abaimov A. P. Ocenka i prognoz poslepozhar'nogo sostoyaniya listvennicy gmelina na merzlotnykh pochvah Srednej Sibiri [Assessment and Forecast of the Post-Fire State of Gmelin Larch on Permafrost Soils of Central Siberia] / A. P. Abaimov, S. G. Prokushkin, V. G. Sukhovolsky et al. // Lesovedenie [Forest Science]. — 2004. — 2. — p. 3-11. [in Russian]
12. Nepovinnikh A.G. Prognozirovanie stroeniya i rosta sosnyakov Krasnoyarskoj lesostepi [Forecasting of the Structure and Growth of Pine Forests of the Krasnoyarsk Forest-Steppe]: abstr. ... dis. of PhD in Agricultural Sciences / Nepovinnikh Artem Gennadievich. — Krasnoyarsk: SibS TU, 2009. — 20 p. [in Russian]