

УДК 630*161
DOI 10.17513/use.38140

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *PINUS SYLVESTRIS* L. В НАСАЖДЕНИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю.

*Камышинский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
Камышин, e-mail: ttp@kti.ru*

В тяжелых лесорастительных условиях сухой степи Нижнего Поволжья, когда часто повторяются засухи, сопровождающиеся усыханием древостоя и лесными пожарами, необходимо разработать прогноз долговечности сосновых насаждений. В регионе имеются созданные в 1903–1905 гг. насаждения сосны на территории Нижневолжской станции по селекции древесных пород ФНЦ РАН. В данных насаждениях на протяжении века проводились наблюдения за их ростом, состоянием, сохранностью, которые позволили установить, что причиной усыхания и отпада в насаждениях является комплекс факторов: засухи, лесные пожары, вторичные вредители и лесная растительность под пологом насаждения. Моделирование процессов распада и выбор наиболее удачных трендов позволили предположить, что уже к 2030 г. в условиях повторяющихся при глобальном потеплении засух исследуемое насаждение полностью перестанет существовать. После 80–100 лет сосновые насаждения в регионе нуждаются в коренной реконструкции. Необходимо разработать концепцию существования сосновых насаждений сухой степи с учетом выявленного авторами биологического ресурса породы и основных негативных факторов: засух, пожаров, вредителей и конкурирующей степной растительности. Представляется целесообразным создание гетерогенных насаждений сосны с введением гибридов, потомства плюсовых деревьев. В противопожарном отношении нужно активно внедрять лиственные породы в виде полос.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, песчаный нанос, засухи, лесные пожары, математические модели, долговечность

MODELING OF THE PROBABLE LONGEVITY OF THE COMMON PINE *PINUS SYLVESTRIS* L. IN PLANTINGS OF THE SOUTH-EAST OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Iozus A.P., Zavyalov A.A., Boyko S.Yu.

*Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University,
Kamyshin, e-mail: ttp@kti.ru*

In severe forest growing conditions in the dry steppe of the Lower Volga region, when droughts are often repeated, accompanied by drying of the stands of trees and forest fires, it is necessary to develop a forecast of the longevity of pine plantations. In the region there are pine plantations created in 1903–1905 on the territory of the Nizhnevolzhskaya station for the selection of tree species of the Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. Observations of their growth, condition, and preservation have been carried out in these plantings for a century, which allowed us to establish that the cause of drying and falling off in plantings is a complex of factors: droughts, forest fires, secondary pests and forest vegetation under the canopy of the plantings. Modeling of decay processes and the selection of the most successful trends allowed us to assume that by 2030, in conditions repeated with global warming droughts, the studied plantation will completely cease to exist. After 80–100 years, pine plantations in the region need radical reconstruction. It is necessary to develop a concept for the existence of pine plantations in the dry steppe, taking into account the biological resource of the species identified by the authors and the main negative factors: droughts, fires, pests and competing steppe vegetation. It seems expedient to create heterogeneous pine plantations with the introduction of hybrids, offspring of plus trees. In terms of fire protection, it is necessary to actively introduce deciduous trees in the form of strips.

Keywords: Scots pine, sand drift, droughts, forest fires, mathematical models, durability

Волгоградская область находится в тяжелейших лесорастительных условиях в сухостепной зоне на юго-востоке европейской территории России, которая характеризуется частыми засухами, суховеями. Количество осадков здесь варьирует от 280 мм в засушливые годы до 400 мм в благоприятные. В результате глобального потепления в области происходит снижение количества осадков, так, 2009–2012 гг. были самыми за-

сушливыми за последние 150 лет, и количество осадков устойчиво снижается до критических значений.

Однако усилиями нескольких поколений лесоводов с 1948 по 2023 г. лесистость этой территории была повышена с 1,1 до 6,1%. Созданные насаждения постоянно испытывают стрессовые ситуации из-за природных катаклизмов. В этих условиях важно проанализировать состояние ранее созданных

насаждений и дать достоверный прогноз их роста, состояния и долговечности в связи с требованиями федеральной программы «Сохранение лесов» [1; 2] и национально-го проекта «Экология» [1;2] и уточнения баланса выбытия и воспроизводства лесов в рамках этих программ. В 1960–1980-е гг. и до настоящего времени основной породой создаваемых насаждений была сосна. Она отличалась хорошим ростом, сохранностью, устойчивостью к неблагоприятным факторам. Таким образом, к 2023 г. площадь сосновых насаждений в области достигла 107,88 тыс. га из 696,8 тыс. га всех видов лесных насаждений Волгоградской области. Однако сосна подвергалась нападению соснового пилильщика и массовым пожарам после продолжительных засух, что привело к тому, что доля сосны в восстановительных посадках сократилась с 80 до 60%. Тем не менее сосняки в области продолжают занимать значительную площадь, и прогноз их долговечности имеет большую практическую значимость. Для решения этой задачи в 2023 г. авторами были продолжены мониторинговые исследования одного из типичных древостоев Волгоградской области, Нижневолжской станции по селекции древесных пород ФНИЦ РАН, которые были начаты в 1991–1992 гг. после значительного ускорения усыхания и отпада после засух старовозрастных сосновых насаждений посадки 1903–1914 гг. общей площадью 87 га.

Цель исследования – провести исследование и проанализировать результаты более чем векового опыта роста сосновых насаждений в сухой степи Нижнего Поволжья и создание по результатам исследования достоверной прогнозной модели для сосновых насаждений области.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являются сосновые насаждения, заложенные в 1903–1905 гг. на площади 3,5 га квартала 13 Нижневолжской станции по селекции древесных пород ФНИЦ РАН. Закладка насаждений производилась под «меч Колесова», размещение растений 1,5x0,5 м. Сеянцы для посадки были получены первоначально из Тамбовской и Воронежской губерний, а с 1905 г. выращивались на Камышинском питомнике, примыкающем к насаждению с востока. На площади квартала в период с 1991 по 2023 г. производился сплошной пересчет, и по общепринятым в таксации методикам измерялись высоты и диаметры, закладывались почвенные разрезы, брались

модельные деревья. Полученные результаты обрабатывались методами математической статистики. Данные, полученные в результате наблюдения, послужили исходными материалами для построения регрессионных моделей и выделения основных трендов, наглядно показывающих основную тенденцию их развития [3, с. 55; 4, с. 36; 5, с. 48].

Результаты исследования и их обсуждение

Изучаемые насаждения сосны обыкновенной находятся на зональных каштановых почвах в квартале 13. Почвы погребены эоловым наносом глубиной 30–40 см в восточной части и 60–80 см в западной. Это неоднократно привлекало внимание ученых. В 1926 г. было проведено первое детальное обследование участка С.М. Зепаловым [6]. Были даны рекомендации по проведению рубок ухода. В 1950 и 1957 гг. также С.М. Зепаловым после обследования были предложены таблицы по таксации древостоев сосны в сухой степи [6]. В 1964 г. Н.Ф. Куликом [7] изучались вопросы суховершинности сосны в насаждении, анализировалось влияние толщины песчаного наноса на состояние деревьев. В 1973 г. в процессе лесоустроительных работ насаждения были обследованы экспедицией «Леспроекта» [8]. После исключительно засушливых 1991–1992 гг. были отмечены массовая суховершинность и усыхание деревьев. Поэтому авторами был организован и проведен комплекс исследований, включающий в себя сплошной пересчет деревьев, изучение развития травянистой растительности с определением видового состава и течения сукцессионных процессов [9; 10, с. 44].

Результаты многолетних наблюдений были объединены в таблицу. По данным таблицы видно, как процессы деградации древостоя насаждения протекали в течение долгого времени с 1950 до 2023 г. За эти 70 лет были отмечены очень сильные засухи в 1972, 1975, 1998 и 2010 гг. После них насаждение было пройдено низовыми пожарами. Так, после засух 1972 и 1975 гг. процесс активного отпада шел еще несколько лет. После чего отпад значительно уменьшился, сократилось и число суховершинных деревьев, и к 1991 г., когда началось комплексное изучение состояния древостоя, насаждение имело приближенное к климаксному состояние. В основном процессы усыхания в этот период происходили очагово и были приурочены к краю поляны, которая образовалась еще в 1950-х гг. [9].

Итоги мониторинга насаждений сосны обыкновенной 1903–1905 гг. посадки кв. 13 (площадь выдела 3,5 га)

Год учета	Возраст культур, лет	Общее число деревьев, шт.	Распределение деревьев по состоянию, шт.			Высота, м	Диаметр, см	Полнота
			здоровые	суховершинные	сухие			
1950	47	3385	2614	438	333	14,2	18,10	0,8
1957	52	2930	2593	245	92	14,2	21,00	0,8
1964	61	2834	2191	631	12	15,4	21,10	0,8
1973	70	2533	2001	151	381	16,2	21,00	0,7
1992	89	1410	1341	1	68	16,7	27,4	0,7
1993	90	1272	1254	1	17	16,6	27,6	0,7
1999	96	580	472	1	107	16,6	33,10	0,3
2003	100	388	381	1	6	16,7	33,14	0,3
2004	101	388	379	3	1	16,7	33,15	0,3
2010	107	264	239	4	21	16,7	33,41	0,2
2014	111	181	166	8	7	17,3	34,50	0,1
2023	120	142	136	2	4	17,0	36,1	0,1

Примерно в этот период на поляне пошли сукцессионные процессы возобновления коренной степной растительности, которая явилась мощным конкурентом древостоя в борьбе за влагу и питательные вещества.

В 1998 г. имела место сильнейшая засуха, когда за год выпало всего 280 мм осадков. В этот же год часть насаждения (примерно 1 га) была пройдена низовым пожаром, что уже в 1999 г. вызвало активизацию усыхания древостоя. Число засохших деревьев составило 107 шт., на них фиксировалось массовое заселение вторичными вредителями. Сохранилось всего 472 здоровых дерева, полнота составила 0,3, что вызвало массовое проникновение под полог сорной степной растительности. Следующим засушливым годом был 2010 г., после которого насаждение также было пройдено низовым лесным пожаром, что вызвало снижение числа здоровых деревьев до 239 и полноты до 0,2.

Если проанализировать изменение полноты в течение всего периода жизни древостоя, то можно отметить, что в период с 1950 по 1993 г. полнота снизилась незначительно до 0,7, и насаждение полностью сохраняло свое лесоводственное, средообразующее и рекреационное значение, так как оно находится в пределах городской черты. Таким образом, в возрасте 90 лет насаждение сосны в сухой степи практически полностью сохраняет свою функцию. Резкое снижение полноты до 0,3 произошло в возрасте 96 лет после засухи 2010 г. Следовательно, состояние древостоя в этом

возрасте биологически нестабильно и уже не может считаться климаксным. По мере уменьшения числа деревьев произошло небольшое возрастание таксационных показателей, что можно объяснить выпадением в первую очередь отстающих в росте деревьев. Как уже отмечалось [6; 9; 10, с. 44; 11], таксация сосновых древостоев в сухой степи отличается от общепринятых в лесной таксации, в ареале естественного распространения сосны обыкновенной. Так, объемы деревьев, выбранных осенью 1950 г. при санитарной рубке, позволили С.М. Зепалову составить предварительную таблицу высот и объемов для таксации древостоев сосны в условиях сухой степи [6].

Как видно из рис. 1, в 2023 г. восточная часть насаждения почти полностью выпала, лучше всего сохранилась западная часть квартала, там, где толщина песчаного наноса была наибольшей 60–80 см (рис. 1).

Под пологом ослабленного древостоя, а особенно в восточной его части, где деревья почти полностью выпали (рис. 1), активно пошли сукцессионные процессы возобновления естественной травянистой растительности. Участки бывшей поляны, на которой сукцессионные процессы идут около 40 лет, перешли в коренную, типчакowo-ковыльную стадию. Таким образом, наличие оставшихся куртинных насаждений оказывает значительное влияние на сукцессионные процессы, и на одном участке одновременно можно наблюдать разные стадии зарастания по К.Н. Кулику [12].



Рис. 1. Расположение сохранившихся 120-летних деревьев сосны обыкновенной в кв. 13 Нижневолжской станции по селекции древесных пород ФНЦ РАН

Квартал 13, в котором проводились исследования, является частью участка сосны площадью 87 га, созданного по такой же агротехнике с 1905 по 1914 г. Предполагаем, что к 2030 г. по перечисленным выше причинам насаждение в целом вступит в период активного распада и гибели, что может быть спровоцировано засухами, участвовавшими и усилившимися из-за процессов глобального потепления на территории региона [2].

После математико-статистической обработки стали рассматривать насаждение как неустойчивую систему, в которой постоянно происходят процессы изменения численности. Установлено, что в возрасте до 50 лет колебания числа деревьев незначительны, в возрасте от 50 до 90 лет не критические, после 90 лет становятся уже критическими, толерантность древостоя значительно падает, и он уже не представляет целостного ценоза (рис. 1). Если рассматривать насаждение как систему, то после 90 лет она не имеет устойчивого состояния, неустойчивость значительно увеличивается и стремится в конце к единице. Воздействие на систему экстремальных факторов, в первую очередь засух и пожаров, приводит с высокой долей вероятности к полной гибели не только изучаемого насаждения, но и других старовозрастных насаждений вида, находящихся в сходных лесорастительных условиях.

На выстроенные временные ряды действует целый ряд факторов. Одни из них являются трендами и действуют постоянно, стабильно и определяют основное направление временного ряда. Другая группа факторов является циклической и периодически влияет на уровни выстроенного ряда [3, с. 55; 4, с. 36; 5, с. 48].

Есть еще стохастические факторы, которые могут быть вызваны случайными причинами, изучить которые невозможно. Был составлен и проанализирован временной ряд по изменению в течение длительного периода числа деревьев в насаждении сосны обыкновенной квартала 13. На основании этого были выявлены как основные факторы, имеющие систематический характер, где тренды являются циклической составляющей, так и группы случайных стохастических факторов. При этом по биологическим законам основной тренд – это нелинейная тенденция к уменьшению с возрастом числа здоровых деревьев на опытном участке и возрастание количества погибших и усыхающих. Часто повторяющиеся в регионе засухи и обычно сопутствующие им низовые лесные пожары критически ослабляют древостой, особенно в возрасте 80–90 лет и выше, являются и трендом, и основной циклической составляющей.

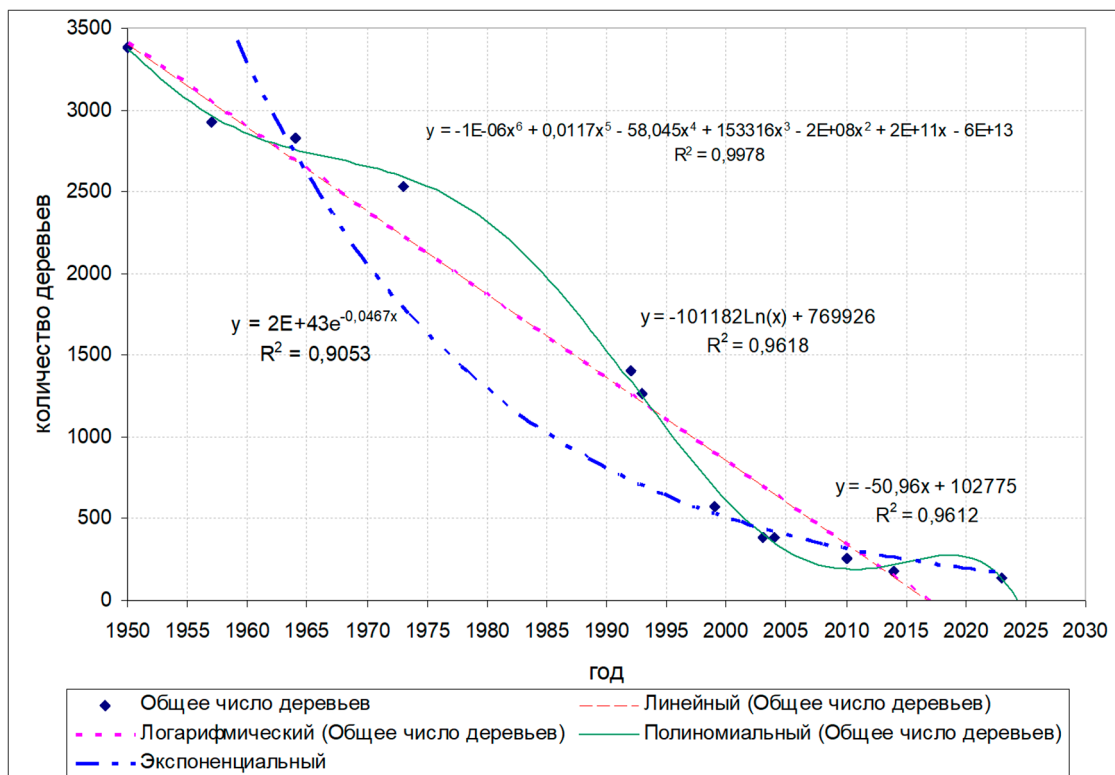


Рис. 2. Корреляционное поле и тренд (основные виды моделей нелинейной регрессии)

На основании данных, полученных в результате более чем векового мониторинга насаждений сосны в квартале 13, проводилось определение трендов временного ряда. Оптимальными для этого являются простейшие регрессионные модели [3, с. 55; 4, с. 36; 5, с. 48]. Модели, которые лучше всего отображают процессы, происходящие в насаждениях, подразделяются на две основные группы: линейные, выражающие прямую зависимость, и более адекватные – нелинейные модели регрессии, включающие в первую очередь логарифмическую, которая обычно достаточно достоверно отражает биологические процессы, а также полиномиальную 6-й степени и экспоненциальную модели (рис. 2).

Индексы детерминации всех построенных моделей (рис. 2) достаточно высоки и стремятся к 1. Основное влияние на модель оказывает фактор времени. Составленные модели прогнозируют, что к 2030 г. насаждение как единый биоценоз перестанет существовать, сохранятся только единичные деревья на фоне активно идущих сукцессионных процессов восстановления коренной степной растительности.

Схожую картину показывают и другие прогнозные модели (рис. 2). Это еще раз

подтверждает высказанные ранее предположения, что биологический ресурс вида сосна обыкновенная на погребенных каштановых почвах в зоне сухой степи составляет 100–120 лет, а лесоводственную ценность она начинает утрачивать уже в 80–90 лет, после чего целесообразно проводить коренную реконструкцию.

Выводы

1. Изучение роста и состояния 120-летнего насаждения сосны обыкновенной на погребенных каштановых почвах в сухой степи Нижнего Поволжья показывает, что после возраста 80–100 лет под воздействием экстремальных факторов значительно усиливаются процессы распада насаждения и оно в большей мере утрачивает свою научную, лесоводственную и рекреационную ценность.

2. Все построенные авторами модели тренда по уменьшению количества деревьев с возрастом, в первую очередь полиномиальная, имеющая очень высокий индекс детерминации $R^2 = 0,998$, показывают, что биологический ресурс сосны обыкновенной в данных лесорастительных условиях в возрасте 120 лет почти полностью исчерпан. Через 10 лет насаждение может прекратить свое существование.

3. В сухой степи Нижнего Поволжья вне ареала естественного распространения сосны обыкновенной биологической ресурс вида с учетом постоянных действующих на насаждение экстремальных факторов: засух, лесных пожаров, вредителей, степной растительности под пологом – составляет примерно 120 лет. Но уже в 80–90 лет целесообразно проводить коренную реконструкцию насаждения. Вновь создаваемые сосновые насаждения должны быть гетерогенны и включать потомство селекционных семенных плантаций региона, разные виды, гибриды и формы сосны, а также листовенные породы, что значительно повысит устойчивость насаждения к пожарам.

Список литературы

1. Постановление Губернатора Волгоградской области от 20.02.2019 № 81 «Об утверждении Лесного плана Волгоградской области» [Электронный ресурс]. URL: // <https://vlg-gov.ru/doc/104964> (дата обращения: 20.10.2023).
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году [Электронный ресурс]. URL: // https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021 (дата обращения: 20.10.2023).
3. Трошина Л.П. Биометрия: учебник. Краснодар: КубГАУ, 2018. 161 с.
4. Берикашвили В.Ш. Статистическая обработка данных, планирование эксперимента и случайные процессы: учебное пособие. М.: Юрайт, 2023. 165 с.
5. Калинин А.Г. Обработка данных методами математической статистики: монография. Чита: ЗИП СибУПК, 2015. 106 с.
6. Зепалов С.М. О старейшей культуре сосны обыкновенной на Камышинском опытном пункте ВНИАЛМИ. Облесение и сельскохозяйственное освоение песчаных земель Юго-Востока: сборник статей. М., 1959. С. 69–76.
7. Кулик Н.Ф. Работы по укреплению и облесению песков на Камышинском опорном пункте: материалы выездной сессии ученого совета ВНИАЛМИ, посвященной 65-летию Камышинского опорного пункта. Волгоград, 1969. С. 68–74.
8. Проект организации и развития лесного хозяйства Камышинского опорного пункта ВНИАЛМИ Волгоградского управления лесного хозяйства Министерства лесного хозяйства РСФСР. Вторая Воронежская экспедиция. Т. 2. Воронеж, 1976. С. 102–110.
9. Морозова Е.В., Иозус А.П. Прогноз долговечности сосновых насаждений в аридном регионе Нижнего Поволжья на основе математико-статистических методов // Фундаментальные исследования. 2015. № 7-1. С. 43–47.
10. Иозус А.П., Крючков С.Н., Морозова Е.В. Селекционное семеноводство древесных пород на юго-востоке европейской России: монография. Волгоград: ВолГГУ, 2016. 184 с.
11. Семенютина А.В., Костюков С.М., Кашенко Е.В. Методы выявления механизмов адаптации древесных видов в связи с их интродукцией в засушливые регионы // Успехи современного естествознания. 2016. № 2. С. 103–109.
12. Кулик К.Н., Пугачева А.М. Структура растительных сообществ залежных земель в системе куртинных защитных лесных насаждений в сухих степях // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22, № 1 (66). С. 77–85.