

УДК 630.165.:630.174.754

## ПРОГНОЗ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В АРИДНОМ РЕГИОНЕ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

**Морозова Е.В., Иозус А.П.**

*Камышинский технологический институт (филиал) ГОУ «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: konvvert@yandex.ru*

В статье рассматривается использование математико-статистических методов для прогноза процесса роста, развития и возможного срока гибели сосновых насаждений на погребенных каштановых почвах в аридных условиях Нижнего Поволжья. В течение длительного периода времени осуществлялся мониторинг состояния сосновых насаждений Нижневолжской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ. При помощи анализа временных рядов был выявлен тренд (тенденция) в данных, полученных при мониторинге. Были построены адекватные регрессионные модели тренда. Выявлена наиболее качественная из них – полиномиальная. При этом построенные модели подтверждают предположение, что сосновые насаждения посадки 1903–1914 гг. достигли предельного для данных условий возраста, биологический ресурс породы исчерпан. Сосновые насаждения в аридном регионе Нижнего Поволжья представляют лесоводческую, научную и рекреационную ценность в возрасте до 80–90 лет, после достижения данного возраста необходима их коренная реконструкция.

**Ключевые слова:** сосновые насаждения, аридный регион, долговечность, анализ временных рядов, тренд, регрессионная модель

## THE FORECAST OF LONGEVITY OF PINETUM IN THE ARID REGION OF THE LOWER VOLGA REGION ON THE BASIS OF MATHEMATICO-STATISTICAL METHODS

**Morozova E.V., Iozus A.P.**

*Reader of Kamyschin Technological Institut (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyschin, e-mail: konvvert@yandex.ru*

The article discusses the use of mathematical-statistical methods for the prediction of the process of growth, development and eventual term of death of pinetum on the buried chestnut soils in the arid conditions the Lower Volga region. The monitoring of pine plantations of lower Volga station on selection of tree species of All-Russian scientific research Institute of agroforestry was carried out for a long period of time. Trend (tendency) was detected from monitoring data using time series analysis. Adequate regression models of trend were built. Polynomial model showed the most highest quality of them. In this case, the constructed models support the hypothesis that the pine plantations planting 1903–1914 gg. have reached the limit of age for the given conditions, biological resource of breed is exhausted. Pinetum has silvicultural, scientific and recreational value to the age of 80–90 years, after reaching this age need their radical reconstruction in the arid region of the Lower Volga region.

**Keywords:** pinetum, arid region, longevity, time-series analysis, trend, regression model

Мониторинговые исследования состояния соснового древостоя Нижневолжской станции ВНИАЛМИ начаты в 1992 году. Основанием послужило ускорение процесса усыхания сосновых насаждений 1903–1914 гг. посадки после засух 1991–1992 гг.

Процесс распада и усыхания деревьев активно пошел в 1992 году после исключительно сильной почвенно-атмосферной засухи, вызвавшей массовое усыхание сосновых насаждений и особенно тех их участков, которые ранее были пройдены низовыми пожарами.

В отдельных кварталах усыхание приняло массовый характер. Так, за 1991–1992 гг. выпало 20% деревьев в кварталах 13, 18. Часто выпады приурочены к прогалинам, полянам, другим открытым участкам.

В 1998 году процесс отпада резко усилился. Основной причиной послужила тяжелейшая засуха, повторявшаяся несколько лет

подряд и сопутствующие ей низовые пожары, которыми пройдено за последние годы 17 га из 98 га, а также массовое нападение на ослабленные деревья вторичных вредителей (вершинного короёда, шестизубчатого короёда, черного соснового усача), а также корневая гниль, вызванная, возможно, корневой губкой и опенком обыкновенным.

**Цель исследования** – изучение динамики роста и состояния соснового древостоя Нижневолжской станции на примере насаждений сосны квартала 13, заложенных в период 1903–1905 гг., как наиболее типичных для данных лесорастительных условий, погребенных на 30–60 см зональных каштановых почв.

### Результаты исследования и их обсуждение

В 1926, 1950, 1957 гг. данные насаждения обследовались С.М. Зепаловым [1].

В 1964 г. – В.Л. Казуровым [3], а в 1973 г. – лесоустроительной экспедицией «Леспроект» при проведении лесоустроительных работ [4], и далее, с 1992 по настоящее время – нами [2].

В 1992–1993 гг. проводилось детальное изучение данного квартала со сплошным пересчетом, фитопатологическим обследованием, взятием модельных деревьев, закладкой почвенных разрезов и др.

Как видно из таблицы, количество деревьев выдела площадью 3,5 га уменьшилось от 3382 в 1950 г., до 1269 в 1993 г. и до 178 в 2014 г. В период с 1973 по 1993 год количество деревьев уменьшилось почти вдвое. Особенно интенсивно в этот период процесс шел в 1991–1992 гг. В 1993 году он несколько замедлился. В основном усыхание шло по краю поляны, находящейся в центре квартала.

с более низкими таксационными характеристиками. При этом на фоне увеличения диаметра произошло снижение бонитета. Отсюда таксация древостоев на песчаных землях Юго-Востока требует несколько иных подходов, чем в зоне экологического оптимума [1]. В 1973, 1999, 2010 и 2014 гг. вслед за резким снижением числа деревьев снижается и полнота древостоя.

Наряду с климатическими характеристиками определяющее воздействие на рост и состояние древостоев оказывают и почвенные условия. Распределение корневых фракций на погребенных каштановых почвах широко не изучено, поэтому был проведен комплекс почвенных исследований с закладкой разрезов и определением содержания корней в монолите.

Изучение почвенного разреза в насаждении показало, что мощность песчаного

Состояние и рост сосновых насаждений посадки 1903–1905 гг. в период с 1950 по 2014 гг. (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	3382	2613	437	332	14,0	18,05	0,8
1957	52	2927	2592	244	91	14,0	20,65	0,8
1964	61	2831	2190	630	11	15,2	20,0	0,8
1973	70	2530	2000	150	380	16,0	20,0	0,7
1992	89	1407	1340	–	67	16,5	27,2	0,7
1993	90	1269	1253	–	16	16,5	27,0	0,7
1999	96	577	471	–	106	16,5	33,0	0,3
2003	100	385	380	–	5	16,5	33,1	0,3
2004	101	385	378	2	5	16,5	33,1	0,3
2010	107	261	238	3	20	16,5	33,4	0,2
2014	111	178	165	7	6	17,1	34,5	0,1

В 1999 году засухи и пожары 1998 г. вызвали резкое ускорение процесса усыхания деревьев и распада насаждения. Количество деревьев выдела сократилось до 471, полнота до 0,3, что создало условия для массового проникновения под полог насаждения степной растительности и вторичных вредителей. Следующий пик снижения численности деревьев и полноты древостоя последовал после засухи и низовых пожаров 2010 года.

Снижение полноты, определяемой по отношению фактических сумм площадей поперечных сечений к табличным, с 1973 г. по 1993 г. было незначительным, что объясняется особенностями роста древостоя в условиях сухой степи. Отмечается небольшое увеличение высоты и диаметра насаждений. Это происходит за счет выпадения деревьев

наноса составляет 20 см, под ним залегают типичная каштановая легкосуглинистая почва с глубиной вскипания 78 см. В пределах 84-сантиметрового слоя почвы по весовой массе фракции крупных и мелких корней распределились поровну, что свидетельствует о сильном преобладании мелких корней, как по длине, так и по количеству. Наибольшая масса корней (по массе) сосредоточена в слое песчаного наноса (55,5%); второй максимум, хотя и менее выраженный, наблюдается в горизонте В. Некоторое накопление здесь корневой массы вызвано, по-видимому, вторичными причинами – низележащий карбонатный горизонт трудно проницаем для корней.

Таким образом, проведенные исследования, подтвержденные данными С.М. Зепалова [2], показывают, что основная мас-

са мелких корней сосредоточена в слое песчаного наноса в горизонте В. Отсюда подстилка и песчаный нанос являются основными источниками водного, азотного и зольного питания деревьев. Раскопка корневых систем также показала, что основная часть скелетных корней отходит от главного корня в пределах от 14 до 45 см. При сильных засухах, как, например в 1972, 1975, 1991, 1992, 1998, 1999, 2010 годах, происходит иссушение почвенного слоя с наибольшей корневой массой, что ведет к нарушению водного питания деревьев, расстройству и гибели отдельных деревьев и насаждений. В настоящее время в сосновых насаждениях Нижневожской станции по селекции древесных пород наиболее интенсивный отпад отмечен в старых кварталах 1902–1908 гг. посадки, которые в целом имеют схожие почвенно-экологические условия.

Агротехника создания и ухода за культурами также была примерно одинакова. Следовательно, можно предположить, что сосновые насаждения достигли предельного для данных условий возраста, биологический ресурс породы исчерпан, что и явилось причиной активизации процесса их естественного отпада. Причинами, ускорившими этот процесс, послужили возросшая антропогенная нагрузка, участвовавшие пожары и засухи. Возможно, что в кварталах, не затронутых пока массовыми отпадами, эти процессы активно пойдут через 3–5 лет. Положение усугубляется массовым проникновением степной растительности под полог древостоя, что ослабляет фитоценоз и ведет к нарушению сложившегося равновесия.

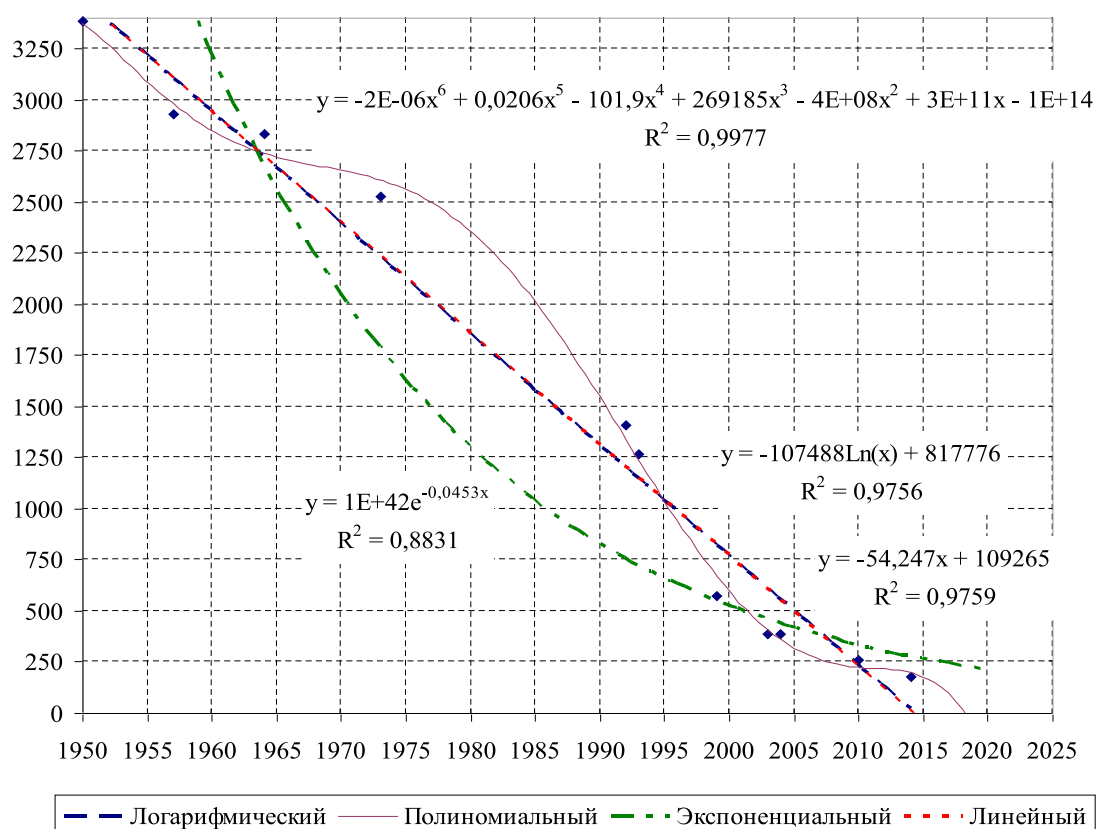
Для прогноза процесса роста, развития и гибели сосновых насаждений на погребенных каштановых почвах были использованы математико-статистические методы. При мониторинге выявлено (таблица), что с течением времени колебания численности антропогенной популяции сосновых насаждений становятся более резкими; это значит, что рассматриваемая система не имеет устойчивого стационарного состояния. Учитывая рекомендации [6], установили, что вероятность вырождения со временем увеличивается, стремясь в пределе к единице – популяция вероятностно неустойчива, т.е. достаточно длительное воздействие возмущений с большой вероятностью приведет к гибели сосновых насаждений.

Уровни временных рядов формируются под влиянием множества факторов. Одни из них действуют стабильно на протяжении длительного периода времени и фор-

мируют основную тенденцию временного ряда, которую называют трендом. Другие факторы циклические влияют на уровни ряда с определенной периодичностью. Влияние сезонных факторов может быть изучено, когда уровни ряда представлены внутригодичными данными. Случайные (нерегулярные) же факторы, вызванные непредвиденными событиями, действуют без определенной периодичности, они практически не поддаются изучению. На практике выделить основные факторы, влияющие на временной ряд, достаточно сложно, так как отдельные последующие значения временных рядов зависят от предыдущих. Поэтому неверно допускать, что факторы, влияющие на колебания уровней, независимы. Кроме того, статистическая совокупность, изучаемая в течение длительного периода, перестает быть такой же самой совокупностью, так как могут измениться основные факторы, влияющие на ее формирование. На основе анализа временного ряда – количество деревьев в сосновом насаждении – было выявлено влияние систематических (тренд, циклическая составляющая) и случайных факторов на значения данного временного ряда. При этом тренд представляет собой общую систематическую нелинейную тенденцию во времени, закономерно влияющую на уменьшение количества деревьев соснового насаждения, с одной стороны, и на увеличение количества погибших деревьев, с другой. Циклическая составляющая процесса роста, развития и гибели сосновых насаждений – это повторяющийся фактор, по нашему мнению, наиболее проявляется периодическими засухами, сопутствующими им низовыми пожарами, характерными для аридного региона Нижнего Поволжья.

Определение трендов временного ряда производилось на основе полученных при мониторинге данных и простейших регрессионных моделей, которые наилучшим образом отображают основную тенденцию развития временного ряда. Моделями, наиболее адекватно выражающими тенденцию развития в нашем случае, являются следующие: линейная и нелинейные (логарифмическая, экспоненциальная и полиномиальная 6-й степени) модели регрессии (рисунок).

Все построенные модели достаточно качественные (индексы детерминации этих моделей близки к 1). Линейная модель и логарифмическая по качеству практически равнозначны, что подтверждается как расчетными характеристиками, так и расположением графиков – они практически совпадают.



Корреляционное поле и тренд (основные виды моделей нелинейной регрессии)

Наиболее качественной из построенных моделей тренда является полиномиальная модель. Индекс детерминации  $R^2 = 0,998$  для этой модели статистически значим по критерию Фишера с доверительной вероятностью 0,99, он подтверждает качество подобранной модели тренда (расчетные значения близки к фактическим). Кроме того, индекс детерминации показывает, что на 99,8% изменение значений временного ряда обусловлено изменением фактора  $X$  – времени и на 0,2% – действием других факторов. На основе данной модели был сделан прогноз на ближайшие 10 лет. Модель свидетельствует, что к 2020 году от исследуемых насаждений практически ничего не останется (возможно, лишь единичные деревья). Данная тенденция прослеживается и на других построенных нами моделях. Это подтверждает предположение, высказанное выше, что сосновые насаждения достигли предельного для данных условий возраста, биологический ресурс породы исчерпан.

### Заключение

Все построенные модели показывают, что в аридных условиях на погребенных

почвах причиной массового усыхания основных насаждений является комплекс факторов. Остановить этот процесс рядом лесоводческих и агротехнических мер не представляется возможным.

Таким образом, сосновые насаждения в аридном регионе Нижнего Поволжья представляют лесоводческую, научную и рекреационную ценность в возрасте до 80–90 лет, после достижения данного возраста необходима их коренная реконструкция (сплошная санитарная рубка, подготовка почвы с обязательным парованием, посадка новых культур сосны). Основываясь на объективных данных, необходимо разработать концепцию существования сосновых биогеоценозов в сухой степи. Данная концепция должна обосновать реализацию биологических ресурсов породы в данных условиях и определить тот предел по почвенным, лесорастительным, возрастным условиям, за которыми существование насаждения нецелесообразно с разных точек зрения. В перспективе, видимо, более целесообразно создание гетерогенных насаждений с включением других видов гибридов и форм сосны [5],

а также устойчивых и долговечных лиственных пород в виде кулис, что эффективно и в противопожарном отношении.

#### Список литературы

1. Зепалов С.М. О старейшей культуре сосны обыкновенной на Камышинском опытном пункте // Облесение и сельскохозяйственное освоение песчаных земель Юго-Востока: сб. науч. тр. – М., 1959. – С. 69–75.
2. Иозус А.П., Макаров В.М. Результаты векового опыта создания сосновых насаждений на погребенных песчаных почвах Нижнего Поволжья // Современные проблемы науки и образования. – 2008. – № 6. – С. 72–74; URL: [www.science-education.ru/30-1142](http://www.science-education.ru/30-1142).
3. Казуров В.В. Научный отчет за 1964 г. «О причинах суховершинности сосны в Камышинском сосновом насаждении». – Камышин, 1964. – 44 с.
4. Материалы второй Воронежской экспедиции Всесоюзного объединения «Леспроект». – Воронеж, 1974. – 400 с.
5. Морозова Е.В., Иозус А.П., Зеленьяк А.К. Опыт применения эколого-генетического анализа при селекции сосен на устойчивость и долговечность в сухой степи Нижнего Поволжья // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: [www.science-education.ru/118-14315](http://www.science-education.ru/118-14315).
6. Свирезhev Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

#### References

1. Zepalov S.M. O starejshej kulture sosny obyknovennoj na Kamyshinskom opytном пункте // Oblesenie i selskohozja-

jstvennoe osvoenie peschanyh zemel Jugo-Vostoka: sb. науч. tr. М., 1959. pp. 69–75.

2. Iozus A.P., Makarov V.M. Rezultaty vekovogo opyta sozdaniya sosnovyh nasazhdenij na pogrebennyh peschanyh pochvah Nizhnego Povolzhja // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2008. no. 6. pp. 72–74; URL: [www.science-education.ru/30-1142](http://www.science-education.ru/30-1142).
3. Kazurov V.V. Nauchnyj otchet za 1964 g. «O prichinah suhovershinnosti sosny v Kamyshinskom sosnovom nasazhdenii». Kamyshin, 1964. 44 p.
4. Materialy vtoroj Voronezhskoj jekspedicii Vsesojuznogo obedinenija «Lesproekt». Voronezh, 1974. 400 p.
5. Morozova E.V., Iozus A.P., Zelenjak A.K. Opyt primeneniya jekologo-geneticheskogo analiza pri selekcii sosen na ustojchivost i dolgovechnost v suhoj stepi Nizhnego Povolzhja // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 4; URL: [www.science-education.ru/118-14315](http://www.science-education.ru/118-14315).
6. Svirezhev Ju.M., Logofet D.O. Ustojchivost biologicheskikh soobshhestv. М.: Nauka, 1978. 352 p.

#### Рецензенты:

Васильев Ю.И., д.с.-х.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Всероссийского НИИ агролесомелиорации Российской академии наук, г. Волгоград;

Рулев А.С., д.с.-х.н., заместитель директора по науке Всероссийского НИИ агролесомелиорации Российской академии наук, г. Волгоград.