

УДК 502; 631.111.3; 332.6.003.12; 316; УЗ4(2)10в6: 630.182

ДИНАМИКА УРОЖАЙНОСТИ УЛУЧШЕННЫХ СЕНОКОСОВ**Мазуркин П.М., Михайлова С.И.***Марийский государственный технический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия*

Для функционального описания поведения территории нами вводится новые понятия — активность и интенсивность растительного покрова. Причем территория понимается как простейшее геодезическое изображение ландшафта. А сам ландшафт, в свою очередь, является первым компонентом динамической геотриады «ландшафт + население + хозяйство». Активность учитывается по доле площади растительного покрова (леса и древесно-кустарниковая растительность, луга и пастбища, особо охраняемые территории и болота) и этот экологический параметр позволяет характеризовать фактически образовавшиеся отклонения от территориального экологического равновесия на конкретной территории.

Рассмотрены районы и города Республики Марий Эл (РМЭ) по состоянию распределения земель на 01.01.07 г. В наиболее общем случае интенсивность проявляется как активность во времени. Физически интенсивность — это скорость изменений. А активность — это сами изменения в природной, природно-техногенной или технической среде (по площади, урожайности растений, продуктивности почвы и пр.) в некотором срезе времени.

Ключевые слова: сенокосы, урожайность, ритмика

Введение

Для функционального описания поведения территории нами вводятся новые понятия — *активность и интенсивность растительного покрова*. Причем территория понимается как простейшее геодезическое изображение ландшафта. А сам ландшафт, в свою очередь, является первым компонентом динамической геотриады «ландшафт + население + хозяйство».

Активность учитывается по доле площади растительного покрова (леса и древесно-кустарниковая растительность, луга и пастбища, особо охраняемые территории и болота) и этот экологический параметр позволяет характеризовать фактически образовавшиеся отклонения от территориального экологического равновесия [1] на конкретной территории.

Однако пока отсутствуют данные земельных кадастров по конкретным землепользователям. Поэтому приведены значения па-

раметров растительного покрова по административным районам и городам субъекта федерации. В частности рассмотрены районы и города Республики Марий Эл (РМЭ) по состоянию распределения земель на 01.01.07 г.

В наиболее общем случае интенсивность проявляется как активность во времени. Физически интенсивность — это скорость изменений. А активность — это сами изменения в природной, природно-техногенной или технической среде (по площади, урожайности растений, продуктивности почвы и пр.) в некотором срезе времени.

Ритмика жизнедеятельности растений четко предопределена циклами вращения Земли вокруг Солнца, поэтому единицей измерения любого показателя (параметр — это показатель, характеризующий исследуемую систему) растительного покрова и его компонент станет год. Активность и интенсивность поведения человека по отношению к

процессу уничтожения ландшафта быстро-течны. Например, планировалось атомными взрывами построить русло крупного канала для переброски воды северных рек на юг.

Растительный покров — это территориально распластанное живое существо, обладающее многими свойствами поведения живого вещества. Индикатором экологического равновесия на данной территории становится его активность. Она в простейшем случае исчисляется по доле занятой площади, причем в ходе конкуренции за плодородные почвы, с человеком. А интенсивность поведения (скорость реакции на внешние раздражения, в том числе и на антропогенные воздействия) растительного покрова за более чем 350–450 млн. лет эволюции наземных растений пока не изменилась. За скоростью эволюции человека растения явно не успевают. Но они это возмещают высокой своей активностью роста и развития сорняков, а также ликвидацией нужных человеку видов культур болезнями.

Травяной покров. Особое место в растительном покрове занимает травяной покров, и он более живуч, устойчив и стабилен

в своем поведении по сравнению с древесными пологами. По данным американских ученых, трава появилась около 100 млн. лет назад. А деревья возникли 350–450 млн. лет назад, то есть трава появилась как результат отклика древесных растений на поведение наземных животных. Поэтому трава биологически устойчивее деревьев, кустарников и кустарничков. При снижении плодородия почвы и ухудшении климата деревья исчезают, а их место обитания занимают степные травы.

Интенсивность воспроизводства травяного покрова. Годичная цикличность определяет урожайность травы в естественных условиях роста и развития, какими являются естественные луга, на которых заготавливается сено. Улучшенные луга уже меняют свое поведение, повышая урожайность на позитивное воздействие человека культурными и техническими мерами и внесением на такие луга удобрений.

Из статистического сборника [6, с. 181] были взяты сводные данные по сенокосным лугам Республики Марий Эл (РМЭ), приведенные в таблице 1.

Таблица 1
Урожайность сена в сельских хозяйствах на территории РМЭ, ц/га

Годы учета*	в хозяйствах всех категорий				в крупных и средних хозяйствах		
	Время <i>t</i> , лет	Естественные и улучшен. сенокосы	Однолетние травы	Многолетние травы	Время <i>t</i> , лет	Естественные сенокосы	Улучшенные сенокосы
1970	0	14.5	12.4	19.9	-	-	-
1975	5	8.0	7.9	10.1	-	-	-
1980	10	12.0	20.5	18.6	0	11.0	16.3
1985	15	17.1	29.9	35.1	5	14.7	21.8
1990	20	19.0	26.9	33.6	10	16.7	26.2
1995	25	3.0	16.1	16.8	15	12.1	15.4
1996	26	12.2	30.4	18.8	16	10.0	15.2
1997	27	16.0	18.8	21.3	17	13.0	21.1
1998	28	11.3	21.4	16.1	18	10.2	14.6
1999	29	9.9	11.1	15.5	19	9.5	11.3
2000	30	13.6	33.7	18.2	20	12.0	18.8
2001	31	14.6	20.6	19.0	21	14.1	15.5
2002	32	9.1	17.7	12.1	22	8.7	10.4
2003	33	12.5	21.1	18.6	23	12.8	11.2

Примечание: * Недостатком динамического ряда является отсутствие данных по всем годам в промежутках между пятилетками, что не позволяет точно выявить циклы с полупериодом менее пяти лет.

Вначале рассмотрим статистические закономерности динамики урожайности травы после естественной сушки в сено на

всей площади по РМЭ определяется рядом значений по точечному графику на рис. 1.

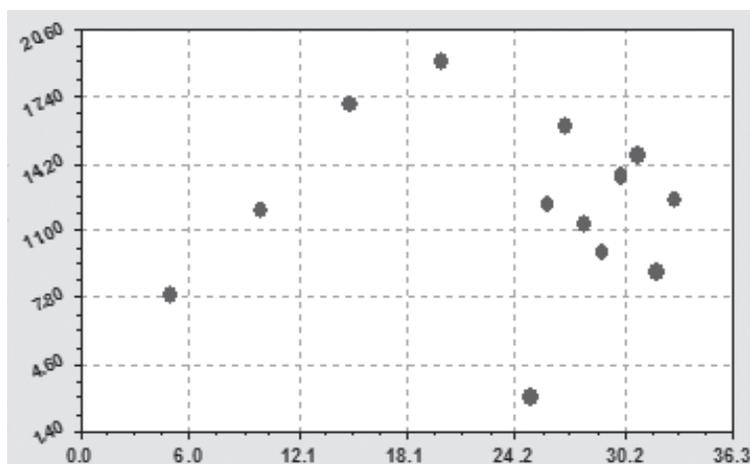


Рис. 1. Изменение урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов Республики Марий Эл, ц/га

сенокосных лугах сельских хозяйств всех категорий. При этом будем выполнять все этапы статистического моделирования:

– **эвристическая идентификация**, когда выясняется логика каждого динамического ряда исходных количественных данных;

– **структурная идентификация**, когда по эвристической модели понимание процессов изменения значений изучаемого показателя выбирается основная (естественная составляющая) закономерность, то есть тренд изменения во времени исследуемого показателя;

– **параметрическая идентификация**, когда в решающей математической среде типа CurveExpert–1.3 подбираются значения параметров статистической модели исходной конструкции, полученной на предыдущем этапе структурной идентификации.

После выполнения всех процедур и этапов идентификации биотехнического закона, предложенного проф. П.М. Мазуркиным [2–5], сформируется **готовая статистическая модель**. Урожайность сена с естественных и улучшенных сенокосов со

Из роя точек резко выделяется одна (самая нижняя) точка.

Полнота динамического ряда. Пусть исходные данные [6, с.181] количественно достоверны и статистики адекватно описали табличными моделями типа табл. 1 картину динамики исследуемого явления или процесса. Тогда можно поставить задачу оценки полноты статистического ряда динамики значений изучаемого показателя.

Критерий полноты значений показателя. Представим динамический ряд значений урожайности сена с естественных и улучшенных сенокосов со всей площади по РМЭ в виде последовательности, показанной в таблице 2.

Весь этот ряд динамики можно разделить на две части:

а) динамика по пятилетним циклам, причем четко по хронологическому времени 1970, 1975, 1980 и т.д.;

б) динамика по годичным циклам, что соответствует действительности, то есть ритму вращения Земли вокруг Солнца.

Таблица 2

Полный динамический ряд урожайности сена, ц/га

Время t , лет	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Урож. q , ц/га	14.5	-	-	-	-	8.0	-	-	-	-	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
12.0	-	-	-	-	17.1	-	-	-	-	19.0	-
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
-	-	-	3.0	12.2	16.0	11.3	9.9	13.6	14.6	9.1	12.5

Введем новый показатель оценки добротности статистических данных динамического ряда — это **коэффициент полноты ряда**. Этот коэффициент k будет вычисляться как отношение количества m имеющихся значений показателя в ряду к общему количеству возможных членов n динамического ряда, то есть по формуле $k=m/n$.

Из данных табл. 2 получаем $m=14$ и $n=34$. Поэтому коэффициент полноты ряда будет $k=14/34=0,412$. Динамический ряд оказался сильно деформированным. Специальными уловками группировки исходных данных всюду занимались советские экономисты, чтобы доказывать недоказуемое. Нужно статистическим службам запретить публикации неполных динамических рядов, так как это почти всегда приводит к ложной идентификации.

Картина распределения точек, показанная роением на рисунке 1, оказалась ложной

$$q_{max} = 14,5092 \exp(-0,0091099t) + 4,7361 \times 10^{-8} t^{9,23434} \exp(-0,44353t). \quad (1)$$

из-за отсутствия 20 точек из требуемых 34 значений изучаемого показателя. При этом не ясно, какими по расположению относительно принятой системы координат были точки в промежутках между пятилетками. Поэтому может оказаться, что полный ста-

$$q_{min} = 7,64985 \exp(-0,0052882t) + 0,000403119 t^{5,45669} \exp(-0,31879t). \quad (2)$$

тистический ряд даст совершенно иную модель динамики (если урожайности 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995 годов окажутся

не максимальными, а иными). Вот почему надо обращать серьезное внимание на полноту статистического ряда динамики значений изучаемого показателя.

Границы доверительного интервала статистического ряда. Применим известный прием выделения верхней и нижней границ доверительного интервала. Это обезопасит от ложной идентификации и неправильной трактовки найденной формулы, так как верхняя и нижняя границы показывают только возможное поле распределения значений показателя вне зависимости от полноты статистического ряда.

Перепишем первую часть показателей таблицы 1 с учетом границ доверительного интервала и результаты приведем в таблице 3.

Верхняя граница урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов определится уравнением (рис. 2) вида

Максимальная относительная погрешность уравнения (1) равна 4,59 %. Коэффициент корреляции по рис. 2 равен 0,9861.

Нижняя граница урожайности сена (рис. 3) определится статистическим уравнением

Максимальная относительная погрешность уравнения (2) равна 3,84 %, а коэффициент корреляции по рисунку 3 равен

Таблица 3
Урожайность сена в сельских хозяйствах всех категорий на территории РМЭ, ц/га

Годы учета	Время <i>t</i> , лет	Естественные и улучшенные сенокосы			Однолетние травы			Многолетние травы		
		ряд	max	min	ряд	max	min	ряд	max	min
1970	0	14.5	14.6		12.4	12.4		19.9	19.9	
1975	5	8.0		8.0	7.9		7.9	10.1		10.1
1980	10	12.0		12.0	20.5	20.5		18.6		
1985	15	17.1	17.1		29.9	29.9		35.1	35.1	
1990	20	19.0	19.0		26.9			33.6	33.6	
1995	25	3.0*			16.1		16.1	16.8		16.8
1996	26	12.2		12.2	30.4	30.4		18.8		18.8
1997	27	16.0	16.0		18.8		18.8	21.3	21.3	
1998	28	11.3			21.4			16.1		16.1
1999	29	9.9		9.9	11.1		11.1	15.5		15.5
2000	30	13.6			33.7	33.4		18.2		
2001	31	14.6	14.6		20.6			19.0	19.0	
2002	32	9.1		9.1	17.7		17.7	12.1		12.1
2003	33	12.5	12.5		21.1	21.1		18.6	18.6	

Примечание: * Такие резко отклоняющиеся точки исключаются из статистических рядов.

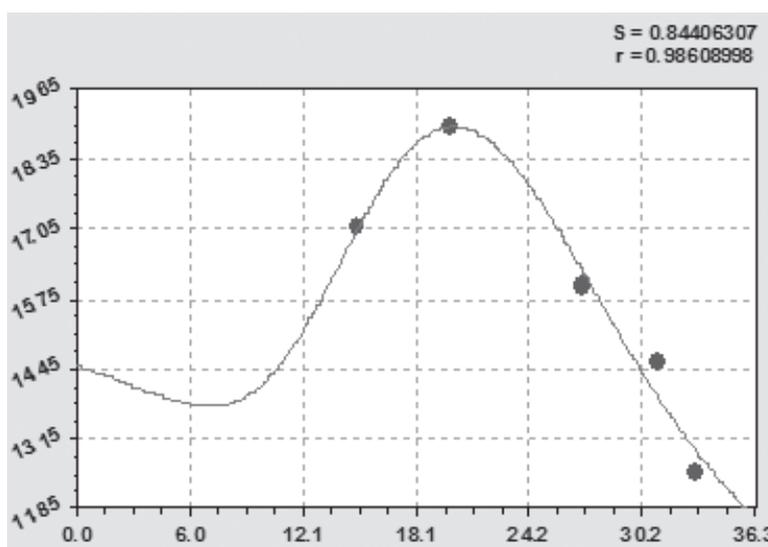


Рис. 2. Верхняя граница доверительного интервала урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ, ц/га

1,0000, то есть формула (2) становится однозначно функциональной математической зависимостью.

Закономерности динамики урожайности сена. Конструкция уравнений для описания верхней и нижней границы доверительного интервал одинакова. Она содержит две составляющие:

а) закон гибели (спада) в упрощенной конструктивной форме, когда третий пара-

метр статистической модели будет равен единице;

б) биотехнический закон проф. П.М. Мазуркина [2–5] в упрощенной форме (когда четвертый параметр модели равен единице).

Когда известна общая конструкция статистической закономерности, то можем её применить ко всему динамическому ряду новых исходных статистических данных.

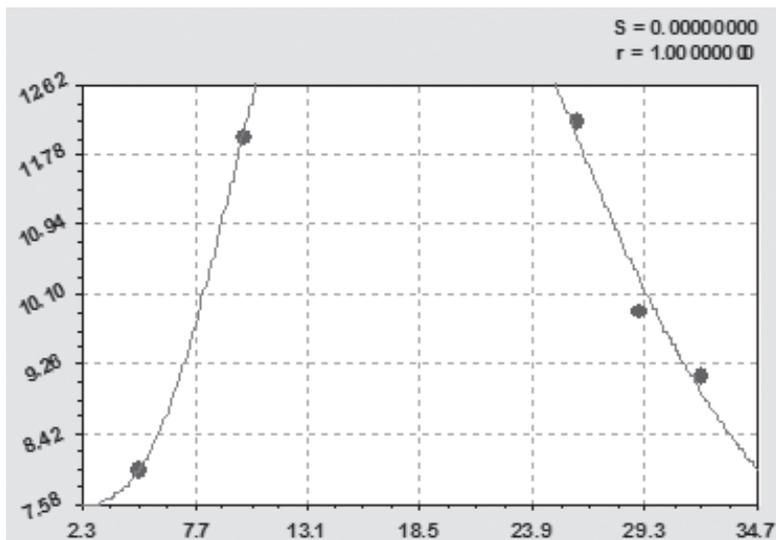


Рис. 3. Нижняя граница доверительного интервала урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ, ц/га

В результате идентификации был получен тренд (рис. 4) из двух составляющих в виде устойчивых законов

$$q=10,9017\exp(0,00083530t)+1,1128\times 10^{-10}t^{14,0597}\exp(-0,88382t), \quad (4)$$

в котором знак экспоненциального закона изменился с отрицательного на положи-

$$q=11,4401\exp(-0,0010562t)+4,9549\times 10^{-12}t^{14,74586}\exp(-0,80755t). \quad (5)$$

тельный, и он стал показывать рост значений урожайности сена. При этом 1995 год не был исключен.

После исключения резко отклоняющейся от других значений показателя точки, отмеченной в данных табл. 3 звездочкой, была

получена формула (рис. 5) статистической закономерности вида

Коэффициент корреляции увеличился до 0,7266, а закономерность стала одинаковой с границами доверительного интервала.

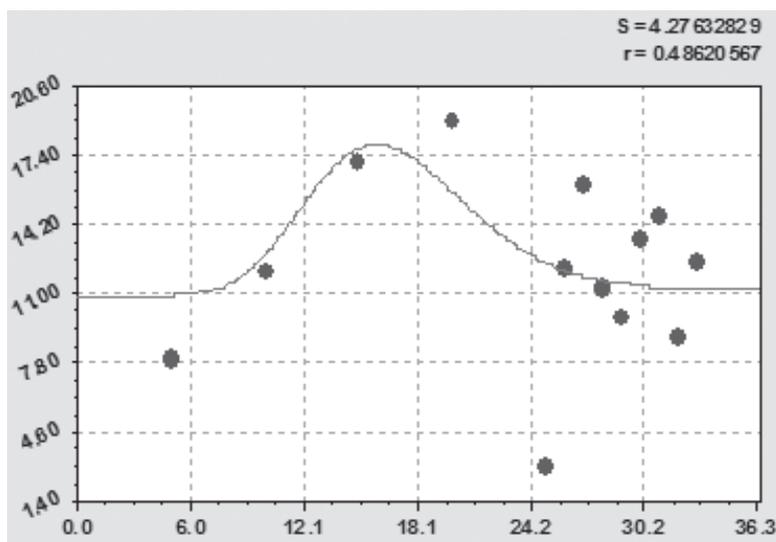


Рис. 4. Тренд урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ, ц/га

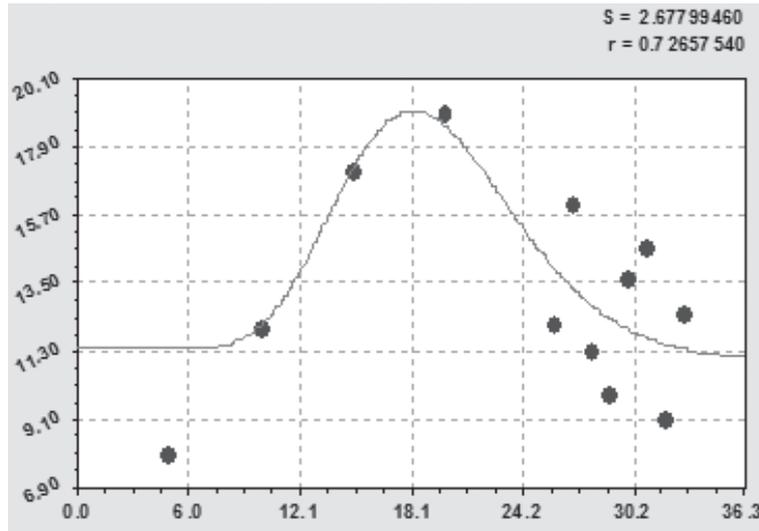


Рис. 5. Тренд урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ после исключения резко отклоняющейся точки, ц/га

При этом попытка наращивания первой составляющей до закона гибели в полной форме не дает результата. Остатки приведены на рис. 6.

$p_{0.5}$ — половина периода колебательного возмущения показателя по биотехническому закону (с учетом предыстории в виде постоянного члена)

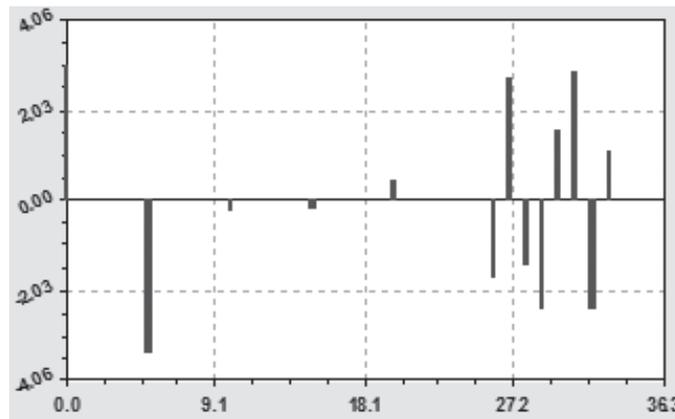


Рис. 6. Остатки тренда (5) урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ, ц/га

Чередование знаков остатков ϵ показывает, что можно дополнить составляющей в виде закона колебательного движения.

Структурно-параметрическая идентификация выполняется относительно вейвлет-функции проф. П.М. Мазуркина [2–5] вида

$$q_3 = A \cos(\pi / p_{0.5} \pm a_{10}), \quad (6)$$

где A — амплитуда (половина) колебательного движения значений изучаемого показателя во времени по биотехническому закону

$$A = a_1 t^{a_2} \exp(-a_3 t^{a_4}) \quad (6a)$$

$$p_{0.5} = a_5 + a_6 t^{a_7} \exp(-a_8 t^{a_9}), \quad (6б)$$

$a_1 \dots a_{10}$ — параметры исходной конструкции статистической модели (6), являющейся обобщенным законом колебательного изменения значений изучаемого показателя.

Волновую закономерность нельзя искать по статистическим выборкам с пропусками данных. Поэтому принимается интервал времени с 1995 по 2003 г. (причем результат 1995 года исключается).

После нескольких сеансов поиска значе-

ний параметров модели (6) в математической среде CurveExpert-1.3 была получена конкретная закономерность в виде сложного уравнения

$$q = 5,64537 \exp(0,022908t) + 6,0178 \times 10^{-13} t^{14,8210} \exp(-0,74130t) - A_1 \cos(\pi t/p_1 + 3,29024) + A_2 \cos(\pi t/p_2 + 1,31367), \quad (7)$$

$$A_1 = 2,09541 t^{0,15870} \exp(-0,0037692t), \quad p_1 = 2,79259 - 0,019856t,$$

$$A_2 = 4,1925 \times 10^{-9} t^{8,82490} \exp(-0,38095t), \quad p_2 = 1,12563 + 0,00014490t.$$

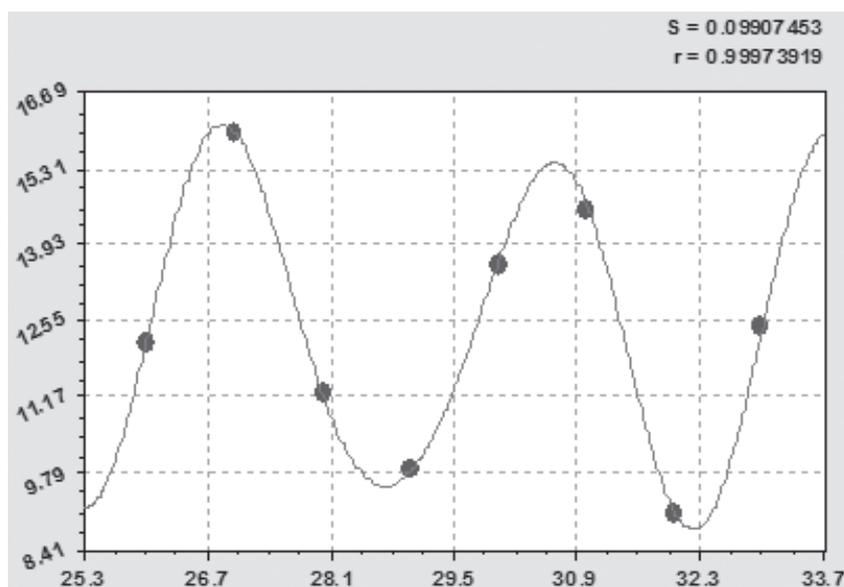


Рис. 7. Динамика урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ за период 1970–2003 гг., ц/га

В статистической модели (7) из четырех составляющих две последние являются колебательными возмущениями. Из-за отрицательного знака первая волновая зависимость является кризисным возмущением сенокосных лугов на внешние раздражители (естественные и антропогенные), причем частота возмущения растет, а вторая волна с начальным периодом в $2 \times 1,12563 = 2,25$ лет показывает позитивное успокоение травяного покрова со снижением частоты адаптивного возмущения.

Сокращение ряда до 1996–2003 гг. сужает прогнозные возможности готовой статистической модели. Исходя из высокой точности, когда максимальная относительная погрешность равна всего 0,47 %, уравнение (7) дает возможность принять горизонт

прогноза, равный основанию прогноза, то есть в восемь лет до

$$2003 + 8 = 2011 \text{ года.}$$

А при ряде со всеми 34 точками получи-

ли бы возможность прогноза до

$$2003 + 34 = 2037 \text{ года.}$$

При этом остатки располагаются так, как это показано на рис. 8.

Расположение остатков показывает, что существует еще одна волновая составляющая с примерным периодом в пять лет. Погрешность измерений урожайности сена недостаточно высока, чтобы искать вейвлет-функцию с амплитудой менее 0,08 ц/га (запись в справочнике [6, с.181] выполнена с округлением до одной десятой, поэтому точность измерений составляет $\pm 0,05$ ц/га).

Изменение шкалы времени. Если исключить пятилетние данные, а также резко отклоняющуюся точку 1995 г., то получим динамический ряд с новой шкалой абсцисс.

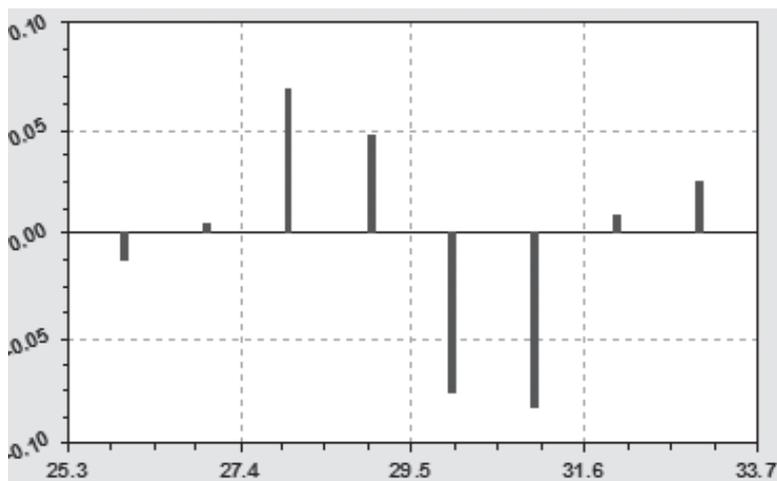


Рис. 8. Остатки готовой статистической модели тренда (4.11) урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ, ц/га

Переход выполняется по формуле $t_1 = t - 26$.

Для новой шкалы получаем условие $t_1 = 0$ для 1996 года. Такое сокращение времени приводит и к уменьшению количества составляющих модели.

После повторной параметрической идентификации модели (4.11) была получена формула (рис. 9) с тремя составляющими

По коэффициенту корреляции 1,000 и нулевым остаткам (рис. 10) модель (8) стала однозначной.

Даже по малым остаткам, находящимся в интервале пренебрежимо малых для практики измерения массы сена чисел $|\epsilon| = 7 \cdot 10^{-12} \dots 7 \cdot 10^{-10}$ на рис. 10 наблюдается новая волновая закономерность. Этот факт

$$\begin{aligned}
 q &= 12,3327 \exp(-0,00036540t) - A_1 \cos(\pi t / p_1 + 1,53433) + \\
 &+ A_2 \cos(\pi t / p_2 - 2,93294), \\
 A_1 &= 3,63948 \exp(0,0089534t), p_1 = 1,91645 - 0,028705t, \\
 A_2 &= 0,034478t^{8,51786} \exp(-1,80140t), p_2 = 1,16822 - 0,0086746t
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

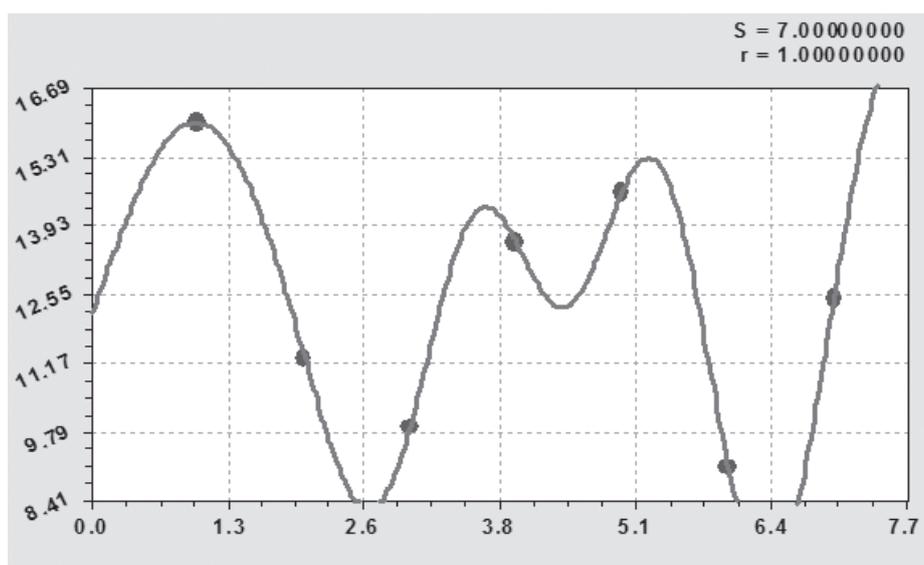


Рис. 9. Динамика урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ за период 1996–2003 гг., ц/га

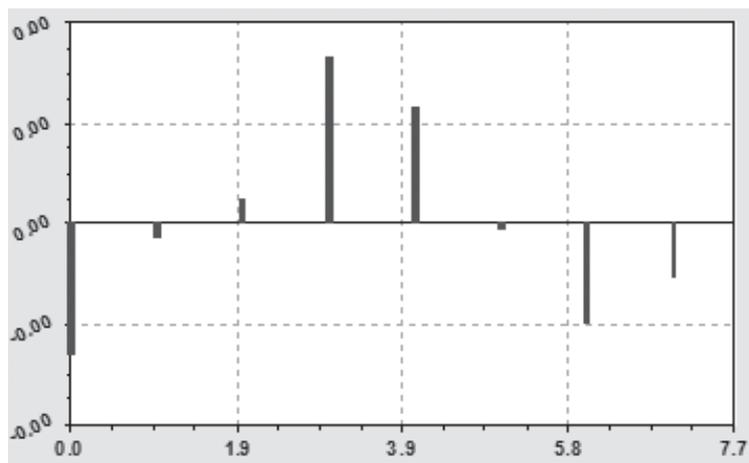


Рис. 10. Остатки готовой статистической модели тренда (4.12) урожайности сена естественных и улучшенных сенокосов РМЭ за период 1996–2003 гг., ц/га

означает, что повышение точности измерения массы травы и сена с единицы площади позволит находить статистические закономерности динамики урожайности.

Список литературы

1. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. — М.: Мысль, 1990. — 637 с.
2. Мазуркин, П.М. Геоэкология: Закономерности современного естествознания: Научное изд. / П.М. Мазуркин. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. — 336 с.
3. Мазуркин, П.М. Закономерности устойчивого развития / П.М. Мазуркин. — Научное издание. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. — 302 с.
4. Мазуркин, П.М. Рациональное природопользование: учебное пособие. В 3-х ч. Ч. 1: Экологически ответственное землепользование / П.М. Мазуркин, С.Е. Анисимов, С.И. Михайлова; под ред. П.М. Мазуркина. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. — 176 с.
5. Мазуркин, П.М. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: Учебное пособие / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. — 292 с.
6. Республика Марий Эл: Статистический ежегодник / А.В. Целищев и др. — Часть 1. — Йошкар-Ола: ФСГС, 2004. — 342 с.

Статья подготовлена и опубликована при поддержке гранта 3.2.3/4603 МОН РФ

DYNAMIC YIELD IMPROVED HAY MEADOWS

Mazurkin P.M., Mihailova S.I.

Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, Russia

For a functional description of the behavior of the territory we have introduced a new notion — the activity and intensity of vegetation. And the area is understood as a simple geodesic image of the landscape. A landscape itself, in turn, is the first component of the dynamic geotriady «landscape + population + household». The activity is taken into account by the percentage of land cover (forests, trees and shrubs, meadows and pastures, protected areas and swamps) and this option allows you to characterize ecological actually formed the deviation from spatial ecological balance in a particular area.

Examined by the district and the city of the Republic of Mari El (RME) as the distribution of land in the year 01.01.07. In the most general case, the intensity reflected the activity in time. Physically, the intensity — the speed of change. And the activity — change it yourself in a natural, natural and industrial or technical environment (in area, crop yield, soil productivity, etc.) in a certain slice of time.

Keywords: hay, productivity, rhythmic