

УДК 504.064.2:574.24:502.057

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЗИМУТА ВЕТРОВ НА ЭТАПЕ РОСТА ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В ПЕРИОДЫ ВЕГЕТАЦИИ 2014 И 2018 ГОДОВ

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.

*Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,  
e-mail: kaf\_po@mail.ru, Little-one7@yandex.ru*

Формирование и отмирание листьев в цикле онтогенеза разделяются на такие этапы: распускание почек, рост и развитие листьев, расцветивание отмирающих листьев, опадение листьев. Мы предлагаем еще два этапа онтогенеза – роста до максимума и спада до опадения. Этап роста листьев березы повислой до максимальной ширины (аналогично и длины, площади и периметра листьев) вегетационного периода становится великолепным квантом поведения растений. Этот квант с высокой адекватностью показывает, что по трехчасовым измерениям азимута ветров распределение количества направлений ветра происходит по сверхсильным закономерностям в 2014 и 2018 гг. Тогда трехчасовые кванты измерений азимута ветров позволяют с очень высокой адекватностью определить распределение количества измерений направлений ветров. В 2014 г. возникли три преобладающих направления, по росту встречаемости азимута: 45; 202,5 и 337,5°. А в 2018 г. были два направления преобладающих ветров: 67,5 и 270° в г. Йошкар-Оле. Трехчасовое распределение направлений ветра по азимуту на первом этапе вегетационного периода листьев березы повислой от 1 мая до 20 августа каждого года происходит по четким закономерностям, в том числе и волновым уравнениям с переменной амплитудой, изменяющейся по биотехническому закону. Для 2018 г. образовалось семь волн с полупериодом колебаний в 45,1; 27,7; 23,25; 24,17; 0,23; 22,65 и 723 суток. Из них постоянным является период в  $2 \times 24,17 = 48,3$  суток.

**Ключевые слова:** вегетация, этап роста до максимума, ширина, преобладающие ветра, азимуты ветров, распределение, колебательная адаптация, закономерности

## THE PATTERNS OF DISTRIBUTION OF THE AZIMUTH OF THE WINDS AT THE STAGE OF GROWTH THE LEAVES OF THE BIRCH IN THE VEGETATION PERIODS 2014 AND 2018

Mazurkin P.M., Kudryashova A.I.

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf\_po@mail.ru, Little-one7@yandex.ru*

Formation and death of leaves in the cycle of ontogenesis are divided into the following stages: Bud growth and development of leaves, blooming dying leaves, leaf subsidence. We propose two more stages of ontogenesis – growth to the maximum and decline to the fall. The stage of growth of birch leaves hanging to the maximum width (similar to the length, area and perimeter of the leaves) of the growing season becomes a great quantum of plant behavior. This quantum with high adequacy shows that on three-time measurements of wind azimuth the distribution of the number of wind directions occurs according to the superstrong laws in 2014 and 2018. Then a three-hour quanta measurements of the azimuth of the winds make it very high to determine the adequacy of distribution of measurement directions of the wind. In 2014 had arisen three prevailing directions, growth of incidence azimuth: 45, 202.5 and 337.50. And in 2018 there were two directions of prevailing winds: 67.5 and 2700 in the city of Yoshkar-Ola. The three-hour distribution of wind directions along the azimuth at the first stage of the growing season of birch leaves from the first of may to August 20 of each year occurs according to clear laws, including wave equations with variable amplitude, changing according to the biotechnical law. For 2018, seven waves with a half-period of oscillations in the 45.1, 27.7, 23.25, 24.17, 0.23, 22.65 and 723 days. Of these, a constant period of  $2 \times 24.17 = 48.3$  days.

**Keywords:** vegetation stage of growth to the maximum, width, prevailing wind azimuths winds, the distribution of the oscillatory adaptation, patterns

Изменения климата влияют на растительность Земли. В Финляндии имеется представление о реакции молодых лиственных деревьев на повышение температуры воздуха во взаимодействии с тропосферным озоном. Эти знания повышают шансы на разработку моделей для включения параметров, которые описывают лесную систему в изменяющихся климатических условиях [1]. Можно утверждать, что будущее сдерживание количества CO<sub>2</sub> находится в увеличении площади, прежде всего, лесов [2, 3]. По вейвлетам универсальной

конструкции изменяется динамика углерода в Европе [4, 5]. В Берлине [6] по 252 деревьям липы на керлах по расстояниям от центра к периферии были выявлены изменения приращения толщины деревьев за 50–100 лет.

Приходит понимание о моделировании взаимных связей между параметрами структуры листьев растений методом идентификации [7, 8]. Априори ясно, что именно погода влияет на ход развития и роста (онтогенеза) растений. А на многолетние растения погода влияет через ежегодный

онтогенез листьев. Кванты поведения листьев, например, березы повислой, распространенной на Северном полушарии [9], четко зависят от квантов (асимметричных вейвлетов [4, 5]) поведения температуры воздуха и относительной влажности. Метеорологические условия являются сильными факторами активности биологических объектов, и для этого в статье [10] оценено влияние температуры, осадков, атмосферного давления и влажности на фенологию земноводных в Юго-Восточном Квинсленде (Австралия).

Рост растений – сложный процесс, в его основе лежат такие фундаментальные явления, как ритмичность, полярность, дифференциация, раздражимость, корреляция. Эти процессы являются общими для онтогенеза. Онтогенез – индивидуальное развитие организма от зиготы (или вегетативного зачатка) до природной смерти. Из-за фотосинтетической активности листьев растение приобретает ряд черт, которые характеризуют его рост. В процессе онтогенеза растения рост наблюдается на протяжении основных этапов его жизненного цикла [11, 12].

Формирование и отмирание листьев в цикле онтогенеза разделяются на такие этапы: распускание почек, рост и развитие листьев, расцветивание отмирающих листьев, опадение листьев. Мы предлагаем еще два этапа онтогенеза – роста до максимума и спада до опадения.

Вегетационный период становится одним из важных экосистемных процессов, так как развитие листьев очень чувствительно к температуре воздуха. Поэтому будущее климата в наблюдениях за листьями. Метрические параметры листьев зависят от периода вегетации.

Береза повислая в Эстонии оказалась эффективной против засухи 2010 г. Деревья хорошо приспосабливаются, а значимость относительной влажности даже выше по сравнению с температурой воздуха [13]. Повышение влажности воздуха снижает температуру и накопление биомассы в молодых березках, в особенности восприимчивы листья [14].

Цель статьи: повышение точности индикации по патенту 2606189 на изобретение качества окружающей листья березы локальной среды сбоку на высоте 1,5–2,0 м со стороны преобладающих ветров по динамике средней ширины у 10 учетных листьев в различных экологических условиях произрастания около дороги с интенсивным движением автомобилей.

## Материалы и методы исследования

Наибольшее время вегетации с момента распускания почек (2 мая 2014 и 1 мая 2018 г.) до максимума ширины листьев прошло 111 суток в 2014 г. (20 августа) и 110 суток в 2018 г. (18 августа). Для этапов роста (рис. 1) принимаем даты с 01.05 по 20.08 и через три часа выпишем данные «Направление ветра (румбы) на высоте 10–12 м над поверхностью земли» для метеостанции г. Йошкар-Олы. Затем клетки с «Штиль, безветрие» были исключены из массива данных, а румбы были преобразованы в азимуты.

За четыре года направление преобладающих ветров сместилось с  $337,5^{\circ}$  до  $270^{\circ}$ . Тогда можно утверждать, что направление ветров находится около северо-запада.

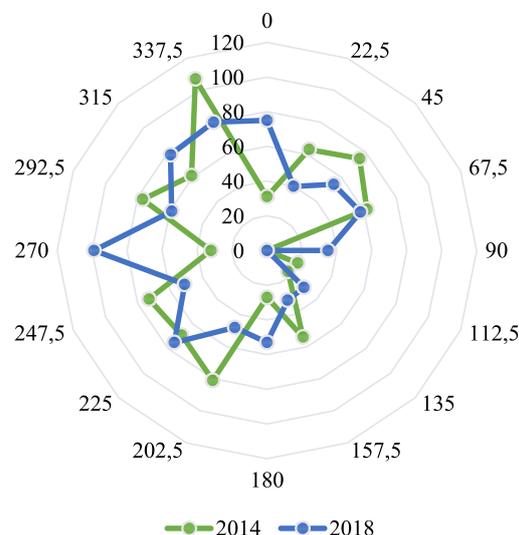


Рис. 1. Роза ветров в г. Йошкар-Оле на этапе роста в период вегетации березы повислой с 01.05 по 20.08

Данные по графикам на рис. 1 приведены в табл. 1. Здесь же даны остатки (абсолютная погрешность), как разница между фактическими и расчетными по волновым уравнениям (табл. 2). А также в табл. 1 приведены значения относительной погрешности, как отношения (в процентах) в виде деления остатков на фактические значения азимута ветров.

Колебания (вейвлет-сигналы) записываются волновой формулой [14–17] вида

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}),$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}), \quad p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \quad (*)$$

где  $y$  – показатель (зависимый фактор),  $i$  – номер составляющей модели (\*),  $m$  – ко-

личество членов в модели (\*),  $x$  – объясняющая переменная (влияющий фактор),  $a_1...a_8$  – параметры модели (\*), принимающие числовые значения в ходе структурно-параметрической идентификации в программной среде CurveExpert-1.40 (URL: <http://www.curveexpert.net/>),  $A_i$  – ам-

плитуда (половина) вейвлета (ось  $y$ ),  $p_i$  – полупериод колебания (ось  $x$ ).

**Результаты исследования и их обсуждение**

В табл. 2 даны параметры (\*) по данным табл. 1.

**Таблица 1**

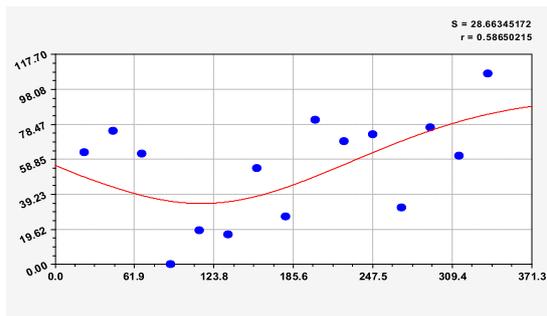
Направления ветров на этапе роста листьев березы повислой

Азимут φ, град	Количество $N$ румбов направлений ветра, шт.					
	2014 г.	Остатки	Погрешность	2018 г.	Остатки	Погрешность
0	31	-0,210962	-0,68	75	0,104856	<b>0,14</b>
22,5	63	0,50304	0,80	40	-0,0268786	-0,07
45	75	-0,714944	-0,95	54	0,0306427	0,06
67,5	62	0,227208	0,37	58	-0,0357718	-0,06
90	0	0,196342	-	35	0,0314459	0,09
112,5	19	-0,00369648	-0,02	0	-0,0262315	-
135	17	-0,101437	-0,60	30	0,0266313	0,09
157,5	54	0,227061	0,42	31	0,000856083	0,00
180	27	0,590869	<b>2,19</b>	53	0,00342509	0,01
202,5	81	0,0897795	0,11	48	-0,0138827	-0,03
225	69	0,0673064	0,10	75	0,00819107	0,01
247,5	73	-0,0758387	-0,10	51	-0,011106	-0,02
270	32	-0,306591	-0,96	99	0,0205141	0,02
292,5	77	0,0334596	0,04	59	-0,0272314	-0,05
315	61	-0,0182502	-0,03	78	0,0145546	0,02
337,5	107	-0,455811	-0,43	80	-0,0386905	-0,05
Всего	848			866		

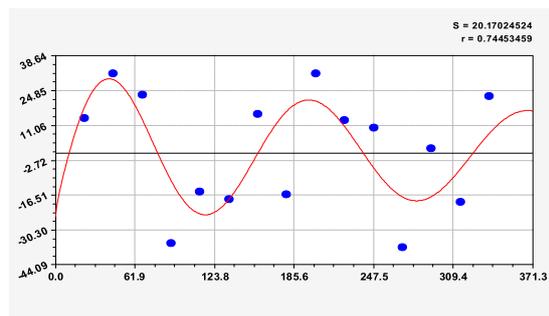
**Таблица 2**

Параметры (1) направлений ветров по азимутам на этапе роста листьев березы

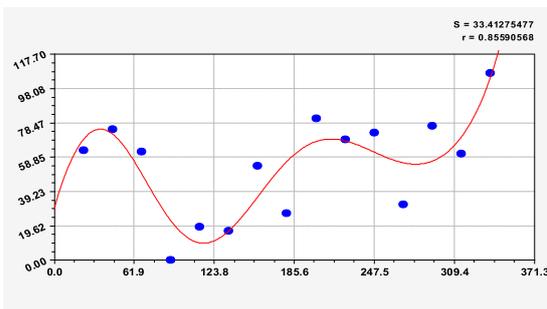
Номер $i$	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. кор. г
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$a_{3i}$	$a_{4i}$	$a_{5i}$	$a_{6i}$	$a_{7i}$		
Этап роста вегетационного периода 2014 г.									
1	31,04888	0	-0,0022750	1	0	0	0	0	0,8559
2	4,06016e-18	26,00798	56,02962	0,11207	0	0	0	0	
3	43,62256	0	0,00025496	1,51089	-439,5006	479,37559	0,016749	1,61580	
4	-0,24363	1,10734	0,0094773	1	41,19066	0	0	1,12850	0,5645
5	8,84433e-7	3,96058	0,011097	1,10024	26,21567	-0,00019902	1,67304	1,62260	0,9919
6	-3,00032e-26	13,75107	0,063782	1,00350	43,87951	0,00014347	1,84964	0,061472	0,7472
7	4,56629	0	0,014893	1	72,84731	-0,013148	1	-1,08682	0,9478
Этап роста вегетационного периода 2018 г.									
1	84,77647	0	0,011844	1	0	0	0	0	0,8895
2	9,43003e6	41,69824	96,48688	0,16659	0	0	0	0	
3	32,51765	0	0,0071364	1	45,13786	0,00018205	2,04081	4,43375	
4	-4,32383e-13	7,19338	0,0060364	1,29657	27,72950	-0,00045090	1,62188	-4,77571	0,9865
5	-1,35019	0	-0,00039237	1,34949	23,24999	0,057855	0,99288	5,47970	0,9551
6	-0,36915	0,035157	0,00012797	1,36144	24,16514	0	0	-0,31166	0,4996
7	-1,41559	0,047326	0,0062964	1	0,23369	0,024887	1	5,71216	0,7413
8	4,71860	17,24510	0,073747	1,00392	22,64515	0,027914	0,98229	1,69285	0,9329
9	1,71127e-6	5,45479	0,56047	0,61560	722,97994	6,84720	1,18444	-1,45528	0,9157



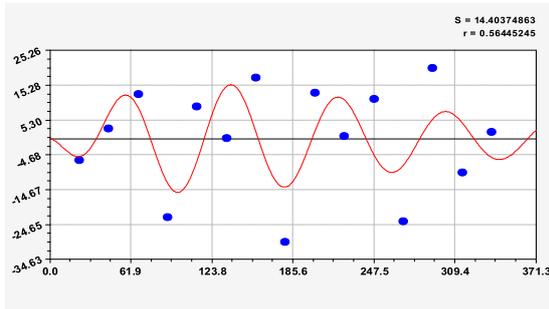
*Двухчленный тренд*



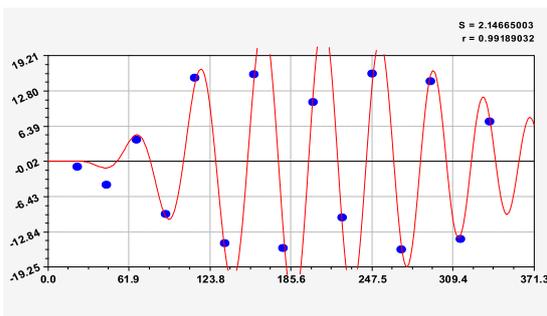
*Первое колебание*



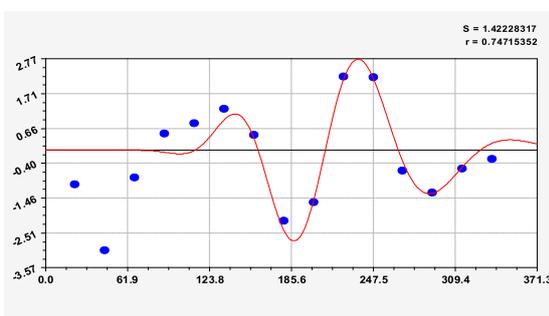
*Двухчленный тренд и одно колебание*



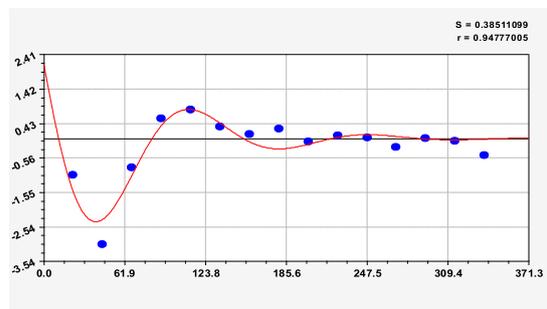
*Второе колебание*



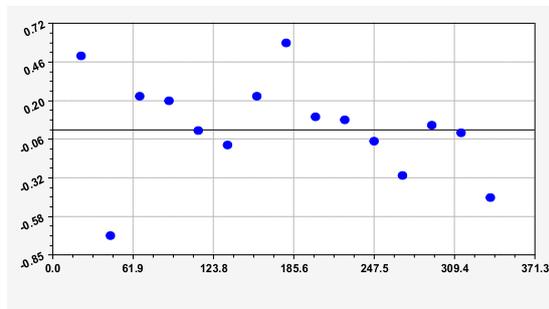
*Третье колебание*



*Четвертое колебание*



*Пятое колебание*



*Остатки после пятого колебания*

Рис. 2. Графики вейвлетов направлений ветров в 2014 г. на этапе роста листьев березы повислой

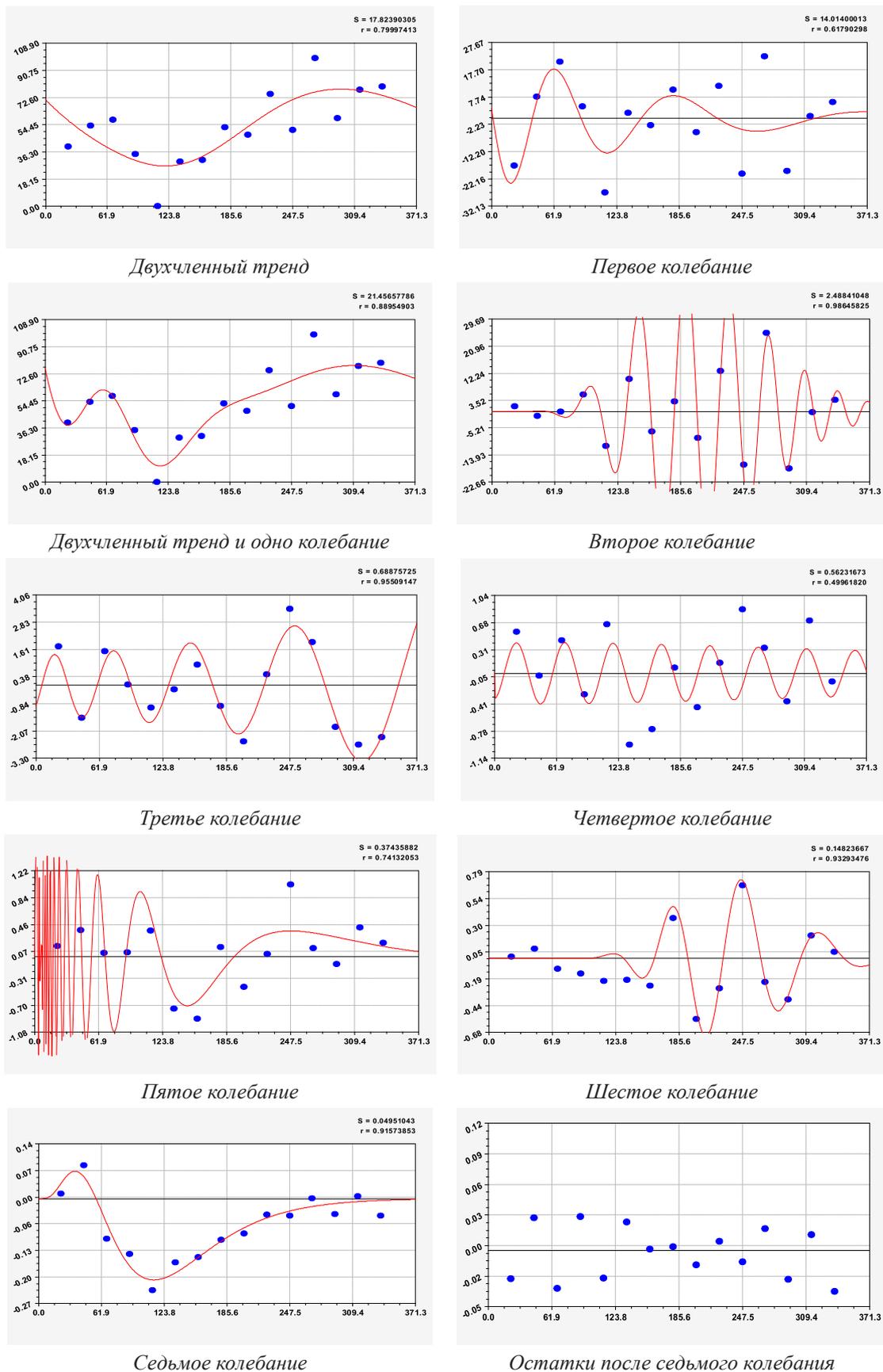


Рис. 3. Графики вейвлетов направлений ветров в 2018 г. на этапе роста листьев березы повислой

Первый член моделей с параметрами из табл. 2 является законом Лапласа (в математике), Мандельброта (в физике), Ципфа – Перла (в биологии) и Парето (в эконометрике). Но разной направленности: для 2014 г. это закон экспоненциального роста, а для 2018 г. – экспоненциальной гибели. Этот естественный закон изменяется для направлений ветров в зависимости от азимута с коэффициентами корреляции 0,5865 и 0,8000. Этот факт указывает на то, что этап роста вегетационного периода 2018 г. был лучше по направлениям ветров. Второй член тренда является биотехническим законом [14]. Все колебания имеют очень высокую адекватность. Именно это свойство колебаний указывает на то, что растения за сотни миллионов лет эволюции адаптировались к волновым изменениям метеорологических параметров.

На рис. 2 и 3 показаны графики всех составляющих общей модели (\*).

Максимальная относительная погрешность по табл. 1 равна 2,19% для 2014 и 0,14% для 2018 г. При этом первые три члена, полученные по возможностям программной среды CurveExpert-1.40, получили коэффициент корреляции 0,8559 и 0,8859. Все пять колебаний на этапе роста 2014 г. завершились до 20 августа, когда был максимум средней ширины.

Для этапа роста в 2018 г. (рис. 3) получились семь колебаний.

Из них только четвертое колебание продолжилось после 20.08. Пятое колебание показывает, что вегетационный период начался по направлениям ветров спонтанно, а затем период колебания увеличился.

Закон стрессового возбуждения по второму члену из табл. 2 показывает, что, по видимому, направление ветра стимулирует рост вегетационных органов растений. Этому способствовало третье колебание (пятый член) с коэффициентом корреляции 0,9919 в 2014 г. А в 2018 г. усиление колебательной адаптации роста листьев произошло из-за второго члена (биотехнический закон) и четвертого члена сильнейшей адекватности (0,9865).

Таким образом, нами доказано, что трехчасовое распределение направлений ветра по азимуту на первом этапе вегетационного периода листьев березы повислой от 1 мая до 20 августа каждого года происходит по четким закономерностям, в том числе и волновым уравнениям с переменной амплитудой, изменяющейся по биотехническому закону.

При этом период колебаний изменяется в широком диапазоне. Пока непонятно, почему первое колебание в 2014 г. происходило с отрицательным периодом  $2 \times (-439,5) = -879$  суток. Остальные волны имели периоды в 82,4; 52,4; 87,8 и 145,7 суток. Полупериод 41,2 сутки постоянный на весь этап роста листьев в 2014 г. и близок к примете в 40 суток погоды.

Для 2018 г. образовалось семь волн с полупериодом колебаний в 45,1; 27,7; 23,25; 24,17; 0,23; 22,65 и 723 суток. Из них постоянным является период в  $2 \times 24,17 = 48,3$  суток. Старт учетных листьев по последнему колебанию показывает, что максимальный полупериод на 01.05.2018 у направлений ветра равен 723 суток. Этап роста листьев березы повислой в 2018 г. получил большую запутанность по сравнению с 2014 г. из-за возникновения пятого и седьмого колебаний. Такие неопределенности, по видимому, будут нарастать на будущее.

Анализ трехчленных графиков показывает, что в 2014 г. возникли три преобладающих направления ветра, по возрастанию частоты встречаемости азимута ветров: 45; 202,5 и 337,5°. А в 2018 г. образовались только два направления преобладающих ветров: 67,5 и 270°. Характерно, что из 848 направлений ветра на этапе роста листьев березы в 2014 г. не было ни одного случая по направлению азимута 90°, а в 2018 г. ноль событий из 866 – по азимуту 112,5°.

### Заключение

Таким образом, этап роста листьев березы повислой до максимальной ширины (аналогично и длины, площади и периметра листьев) вегетационного периода становится великолепным квантом поведения растений. Этот квант с высокой адекватностью показывает, что по трехчасовым измерениям азимута ветров распределение количества направлений ветра происходит по сверхсильным закономерностям в 2014 и 2018 г. Тогда трехчасовые кванты измерений азимута ветров позволяют с очень высокой адекватностью определить распределения количества измерений направлений ветров.

В 2014 г. возникли три преобладающих направления, по росту встречаемости азимута: 45; 202,5 и 337,5°. А в 2018 г. были два направления преобладающих ветров: 67,5 и 270°.

### Список литературы / References

1. Maarit M. Impacts of temperature and ozone on carbon retention processes of birch and aspen. Dissertations in Forestry and Natural Sciences. Finland, 08. 2012. 54 p.

2. Crowther T.W., Glick H.B., Covey K.R., Bettigole C., Maynard D.S., Thomas S.M., Smith J.R., Hintler G., Du-guid M.C., Amatulli G., Tuanmu M.-N., Jetz W., Salas C., Stam C., Piotto D., Tavani R., Green S., Bruce G., Williams S.J., Wiser S.K., Huber M.O., Hengeveld G.M., Nabuurs G.-J., Tik-honova E., Borchardt P., Li C.-F., Powrie L.W., Fischer M., Hemp A., Homeier J., Cho P., Vibrans A.C., Umunay P.M., Piao S.L., Rowe C.W., Ashton M.S., Crane P.R., Bradford M.A.. Mapping tree density at a global scale. *Nature*. 2015. № 525. P. 201–205. DOI:10.1038/nature14967.
3. Polgar C.A., Primack R.B. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. *New Phytologist*. 2011. № 191. P. 926–941. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03803.
4. Mazurkin P.M. Wavelet Analysis Statistical Data. *Advances in Sciences and Humanities*. 2015. Vol. 1. № 2. P. 30–44. DOI: 10.11648/j.ash.20150102.11.
5. Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. Factor analysis of annual global carbon dynamics (according to Global Carbon\_Budget\_2017v1.3.xlsx). Materials of the International Conference «Research transfer»- Reports in English (part 2). November 28. 2018. Beijing: PRC, 2018. P. 192–224.
6. Dahlhausen J., Rötzer T., Biber P., Uhl E., Pretzsch H. Urban climate modifies tree growth in Berlin. *International Journal of Biometeorology*. 2018. V. 62. Issue 5. P. 795–808. DOI: 10.1007/s00484-017-1481-3.
7. Mazurkin P.M. Method of identification. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM*. 2014. V. 1 (6). P. 427–434.
8. Mazurkin P.M. Identification of the wave patterns of behavior. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM*. 2014. V. 1 (6). P. 373–380.
9. Takhtajan A.L. *Floristic Regions of the World*. Berkeley-Los Angeles-London: University of California press, 1986. 523 p.
10. Plenderleith T.L., Stratford D., Lollback G. W., Chapple D.G., Reina R.D., Hero J.-M. Calling phenology of a diverse amphibian assemblage in response to meteorological conditions. *International Journal of Biometeorology*. 2018. V.62. Issue 5. P. 873–882. DOI: 10.1007/s00484-017-1490-2.
11. Laube J., Sparks T. H., Estrella N., Menzel A. Does humidity trigger tree phenology? Proposal for an air humidity based framework for bud development in spring. *New Phytologist*. 2014. V. 202. P. 350–355.
12. Fu Y.H., Zhao H., Piao S., Peaucelle M., Peng S., Zhou G., Ciais P., Huang M., Menzel A., Peñuelas J., Song Y., Vitasse Y., Zeng Z., Janssens I. A. Declining global warming effects on the phenology of Spring leaf unfolding. *Nature*. 2015. Vol. 526. P. 104–107. DOI:10.1038/nature15402.
13. Sellin A., Niglas A., Öunapuu-Pikas E., Kupper P. Rapid and long-term effects of water deficit on gas exchange and hydraulic conductance of silver birch trees grown under varying atmospheric humidity. *BMC Plant Biology*. 2014. V. 14. 72 p. DOI: 10.1186/1471-2229-14-72.
14. Sellin A., Rosenvald K., Öunapuu-Pikas E., Tullus A., Ostonen I., Lõhmus K. Elevated air humidity affects hydraulic traits and tree size but not biomass allocation in young silver birches (*Betula pendula*). *Frontiers in Plant Science*. 13 October 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00860.