

40. Mangerud, J., Jacobsson, M., Alexanderson, H., Astakhov, V., Clarke, G.C.K., Henriksen, M., Hjort, C., Krinnerm, G., Lunkkja, J. P., Moller, P., Murray, A., Nikolskaya, O., Saarnisto, M. and Svendsen J.I. (2004), "Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation", [Quaternary Science Reviews, vol.23], pp. 1313–1332.

41. Panin, A.V., Buravskaya M.N. and Marchenko–Vagapova, T.I. (2018), "The Late Middle Pleistocene proglacial lake in the Keltmensky hollow, Severnyye Uvaly upland", Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status and young scientists school in microscopy skills in paleolimnology, *Proceedings of the 3rd International Conference*, pp. 80–83.

42. Zaretskaya, N.E., Panin, A.V. and Karpukhina, N.V. (2018), "The SIS limits and related proglacial events in the Severnaya Dvina basin, northwestern Russia: review and new data", *Bulletin of the Geological Society of Finland*, vol.90, pp. 301–313.

Поступила в редакцию: 10.10.2019

Сведения об авторе

Назаров Николай Николаевич

доктор географических наук, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтной экологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: nikolainazarovpsu@gmail.com

About the author

Nikolai N. Nazarov

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Назаров Н.Н. Плейстоценовые приледниковые подпрудные озера и современные водохранилища: сходство и различие в геодинамике и осадконакоплении // Географический вестник =Geographical bulletin. 2019. №4(51). С. 33–45. doi 10.17072/2079-7877-2019-4-33-45.

Please cite this article in English as:

Nazarov N.N. Pleistocene ice-dammed lakes and modern reservoirs: similarity and difference in geodynamics and sedimentation // Geographical bulletin. 2019. №4(51). Pp. 33–45. doi 10.17072/2079-7877-2019-14-33-45.

УДК 53.095; 57.045:58.056; 581.522.5; 81.543.3

DOI: 10.17072/2079-7877-2019-4-45-58

ГОРОДСКАЯ ФИТОМЕТЕОРОЛОГИЯ: ВЛИЯНИЕ СУММЫ ТЕМПЕРАТУР НА ОНТОГЕНЕЗ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

Петр Матвеевич Мазуркин

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0177-5521>, Researcher ID: H-7464-2014, SPIN-код: 3355-8099

e-mail: kaf_po@mail.ru

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

Анастасия Игоревна Кудряшова

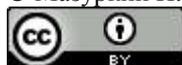
SPIN-код: 6157-2253

e-mail: Little-one7@yandex.ru

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

Развитие листы березы повислой очень чувствительно к изменениям температуры в приземном слое атмосферы. Цель работы – сравнение суммы трехчасовых температур воздуха с динамикой роста и развития учетных листьев березы повислой в вегетационном периоде г. Йошкар-Ола. Поведение каждого листа наблюдается как колебательная адаптация к изменениям среды, окружающей этот лист. Причем адаптация происходит по множеству убывающих квантов взаимодействия. По датам измерений параметров 20 листьев за период вегетации березы повислой получены данные квантового состояния в чистых экологических условиях произрастания. В фитометеорологии первый уровень квантования метеорологических данных заключается в учете начала и конца вегетационного периода

© Мазуркин П.М., Кудряшова А.И., 2019



Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Мазуркин П.М., Кудряшева А.И.

березы повислой. Отказ от среднесуточной температуры и переход к измерениям через три часа позволяет получить колебание с постоянным полупериодом 0,50003 сут. Этот вейвлет имеет коэффициент корреляции 0,6880, что гораздо выше по сравнению с остальными 27 членами общей модели. Листья в вегетационный период растут и развиваются путем колебательной адаптации к сумме температур. Наибольшие коэффициенты корреляции имеют длина и ширина учетного листа березы повислой. Необходимо продолжить исследования динамических рядов температуры на метеорологических станциях с динамикой поведения листьев березы повислой и других видов деревьев. Это позволит развить фитометеорологию для многих точек Земли и выявить закономерности фитоклимата для противодействия возрастающему глобальному потеплению.

Ключевые слова: листья березы, вегетационный период, динамики суммы температур, параметры 20 учетных листьев, динамика поведения, вейвлет-анализ.

URBAN PHYTOMETEOROLOGY: THE INFLUENCE OF THE SUM OF TEMPERATURES ON THE ONTOGENESIS OF SILVER BIRCH LEAVES

Petr M. Mazurkin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0177-5521>, ResearcherID: H-7464-2014,

SPIN-code: 3355-8099, e-mail: kaf_po@mail.ru

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Anastasia I. Kudryashova

SPIN-code: 6157-2253

e-mail: Little-one7@yandex.ru

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The development of silver birch foliage is very sensitive to changes in temperature in the surface layer of the atmosphere. The study aims to compare the sum of three-hour air temperatures with the dynamics of growth and development of the accounted birch leaves in the vegetation period. The behavior of each leaf is seen as an oscillatory adaptation to changes in its environment; the adaptation takes place on the set of decreasing quanta of interaction. Based on the dates when parameters of 20 leaves were measured within the vegetation period, the quantum state in pure environmental growth conditions was received. In phytometeorology, the first level of meteorological data quantization consists in accounting for the beginning and the end of the vegetation period. Making measurements at three-hour intervals instead of using measurements based on the average daily temperature gives an oscillation with a constant half-cycle of 0.50003 days. This wavelet has a correlation coefficient of 0.6880, which is much higher than the other 27 members of the general model. Leaves grow and develop during the vegetation period by way of vibrational adaptation to the sum of temperatures. The greatest correlation coefficients are the length and width of the accounted leaves. It is necessary to continue research on dynamic series of temperature at meteorological stations with dynamics of leaves behavior for silver birch and other types of trees. This would help to develop phytometeorology for many parts of the Earth and identify patterns of phytoclimate to counteract the increasing global warming.

Keywords: birch leaves, vegetation period, temperature sum dynamics, parameters of 20 accounted leaves, behavior dynamics, wavelet analysis.

Введение

В статье рассматриваются фитометеорология и влияние суммы температур на листья березы повислой в онтогенезе в вегетационный период. Наиболее актуальным является изучение фитометеорологии в городской среде. Причем вначале нужно изучать поведение листьев берез в чистых городских условиях. Поскольку г. Йошкар-Ола по экологическому рейтингу занимает 9–10-е места в России, он был взят за объект исследования. Подобные исследования проводятся и в городах за рубежом. Например, биометеорологическая оценка состояния климата и качества воздуха в Германии выполняется для городского и ландшафтного планирования [28]. В основном биометеорология городов нужна для человека [25], поскольку микроклимат в городской среде формируют сообщества деревьев, кустарников и травы газонов.

В статье [1] показано существование асинхронной связи между температурой приповерхностного слоя воздуха в различных зонах Земли. На эту температуру влияет солнечная

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Мазуркин П.М., Кудряшева А.И.

радиация [2], зависящая от рельефа. Йошкар-Ола находится в равнинной местности, поэтому влиянием рельефа можно пренебречь.

По работе [3] метеорологические факторы влияют на загрязнение воздуха, а летом сильно влияет температура воздуха. Прогноз температуры [9] по климатической модели Германии показал, что до 2100 г. летом средний прирост температуры составит 1⁰С. При этом с января по май происходит сильная флюктуация температуры из-за циклонических влияний [10]. За 1966–2013 гг. было заметно повышение летних температур [14]. Динамика показывает более равномерное распределение температуры летом [20; 22].

Метрические параметры листьев [19] зависят от периода вегетации, который зависит от температуры и непрерывно увеличивается [21]. При росте периода вегетации сумма активных температур изменяется незначительно [23]. В работах [24; 27] принята среднесуточная температура, но для учета дневного и ночного периодов необходимо принять измерения температуры через 3 ч.

Листья разворачиваются как реакция на потепление воздуха. Для многих видов деревьев интервал 0–5⁰С является эффективным. На березу влияет повышение температуры: выше температура, значит больше биомасса и больше углерода накапливается из-за глобального потепления [26]. Вегетационный период становится одним из важных параметров экосистемных процессов, так как развитие листьев чувствительно к температуре воздуха. Поэтому будущее климата – в наблюдениях за листьями [31]. Перспективно также следить за поведением железистых волосков на поверхности листьев березы [33].

Материалы и методы исследования

Главным объектом глобального экологического мониторинга может стать береза с учетными листьями без их срезания [4–8; 11–13; 15–18]. Березняки северного полушария (Голарктическое царство по А.Л. Тахтаджяну [32]) занимают полмира вдоль Ледовитого океана.

Получены закономерности, показывающие слабое отличие групп по пять учетных листьев, расположенных на отдельных ветвях, в зависимости от азимута, радиуса от оси ствола и угла примыкания ветви к стволу молодой березы [12, с. 118–166]. Каждый растущий учетный лист помечали белой ниткой с биркой с номером листа, привязанной к черешку у основания листа.

Способ измерения параметров учетных листьев включает следующие действия [15–18]. На лист кладут прозрачную палетку (клетки 2×2 мм) так, чтобы средняя линия вдоль палетки совпала с осью продольной жилки. Лист с палеткой фотографируют фотоаппаратом с функцией хранения снимков. На компьютере фото подрезают, увеличивают для подсчета клеток до формата А4.

В отличие от [12] в данной статье последняя точка по факту опадения листа исключена. Дополнен новый параметр – сумма температур через каждые три часа (табл. 1) на метеостанции поселка Медеведево (2 км от молодой березы).

Текущее время учитывается через каждые три часа; температура воздуха в приземном слое принимается по данным метеостанции. Затем вычисляется кумулята температуры. За вегетационный период образуется сумма температур в 19756,5⁰С. Чтобы получить приемлемые для расчетов значения, принимается по формуле $\sum_T = \sum T / 100$ деление на 100.

В табл. 2 приведен фрагмент данных экспериментов с листьями березы. В ней приняты условные обозначения: t – текущее время от распускания почек березы повислой (2 мая 2014 г.) до последнего измерения в вегетационном периоде, сут. (24.09.2014); \sum_T – сумма температур с момента распускания почек березы повислой через каждые три часа измерений на метеостанции, 0,01⁰С; a – длина листа вдоль главной жилки, измеряемая от места соединения черешка с листовой пластиной до конца верхинки листа, мм; b – ширина листа по крайним точкам поперек листовой пластины, мм; P – периметр листа, см; S – площадь листа, измеряемая количеством клеток размерами 2×2 мм и количеством клеток, расположенных вдоль периметра листа, см².

Физико-математический подход предполагает понимание **динамического ряда** по вегетационному периоду как отражение какого-то составного процесса жизнедеятельности учетных листьев. Поведение каждого листа происходит как колебательная адаптация к изменениям окружающей этот лист среды. Причем адаптация происходит по множеству убывающих квантов взаимодействия.

Таблица 1

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Мазуркин П.М., Кудряшева А.И.

Динамика температуры воздуха с начала вегетации листьев березы повислой
 Dynamics of air temperature since the beginning of birch leaves vegetation

Дата	Срок, ч	Время t , сут.	Температура воздуха T , °C	Сумма температур ΣT , °C	Сумма для расчетов $\Sigma_T = \Sigma T/100$
02.05.2014	1	0,042	9,8	9,8	0,1
	4	0,167	7,7	17,5	0,2
	7	0,292	7,7	25,2	0,3
	10	0,417	17,1	42,3	0,4
	13	0,542	19,6	61,9	0,6
	16	0,667	19,5	81,4	0,8
	19	0,792	19,1	100,5	1,0
	22	0,917	13,5	114,0	1,1
...
01.10.2014	1	152,042	3,7	19719,6	197,2
	4	152,167	5,2	19724,8	197,2
	7	152,292	5,4	19730,2	197,3
	10	152,417	5,2	19735,4	197,4
	13	152,542	5,1	19740,5	197,4
	16	152,667	5,4	19745,9	197,5
	19	152,792	3,8	19749,7	197,5
	22	152,917	6,8	19756,5	197,6

При таком допущении любое уравнение волновой составляющей в квантах колебательной адаптации можем записать как вейвлет-сигнал [35;36]:

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}), \quad A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}), \quad p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \quad (1)$$

где A_i – амплитуда (половина) асимметричного вейвлета (ось Y); p_i – полупериод колебания (ось X); $a_{1i} \dots a_{8i}$ – параметры модели (1), получаемые попарно по статистическим данным в программной среде CurveExpert-1.40 (<http://www.curveexpert.net/>) по данным табл. 1 и 2; i – номер члена (1).

По формуле (1) с двумя **фундаментальными физическими постоянными e** (число Непера, или число времени) и π (число Архимеда, или число пространства) образуется внутри изучаемого явления и/или процесса **квантованный вейвлет-сигнал**. Причем эти кванты располагаются друг за другом фрактально по закону Манделъброта. Понятие асимметричного вейвлета у сигнала (1) позволяет абстрагироваться от физического смысла рядов распределений по значениям изучаемых и измеряемых факторов.

Динамика температуры воздуха в период вегетации листьев березы

Из практически бесконечного ряда трехчасовых измерений температуры на метеостанции мы выделяем квантовое состояние в виде суммы вейвлетов (табл. 3), определяемое периодом вегетации листьев березы. Первый уровень квантования метеорологических данных заключается в учете начала и конца вегетационного периода. Период вегетации листьев зависит от точки расположения метеостанции на суше Земли, а также от года проведения измерений, биологического вида растения и его возраста.

Всего в табл. 3 образовалось 28 вейвлетов, при этом оказалось, что вейвлет-анализ можно продолжать и дальше, но волновые закономерности получаются с очень малыми коэффициентами корреляции. Первые две не волновые члены образуют тренд (тенденцию). Однако тренд – это волна с почти бесконечным периодом колебания, намного превышающим длину вегетационного периода. Поэтому тренд также является квантом поведения. Первый член является законом экспоненциального роста, и он характеризует процесс потепления на Земле. Второй член тренда является законом показательного роста, причем кризисного роста из-за отрицательного знака и снижения к осени количества солнечной радиации. Тренд с двумя членами показывает сезонное изменение температуры приземного слоя атмосферы.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Мазуркин П.М., Кудряшева А.И.

Таблица 2

Сопоставление суммы температур воздуха с параметрами 20 листьев березы повислой
Comparison of the sum of air temperatures with the parameters of 20 birch leaves

№ n/n	Дата	Время t, сут	№ листа	Сумма Σ_T	a, мм	b, мм	P, см	S, см ²
1	02.05.2014	0	1	0,1	0	0	0	0
2	21.05.2014	19	1	21,9	26,0	20,2	7,35	3,32
3	29.05.2014	27	1	34,9	34,4	26,6	12,73	7,66
4	05.06.2014	34	1	45,6	42,0	33,8	13,58	9,04
5	19.06.2014	48	1	63,8	49,6	41,8	14,99	14,90
6	03.07.2014	62	1	81,6	54,4	46,2	19,23	17,84
7	24.07.2014	83	1	112,4	62,2	50,4	19,80	20,36
8	21.08.2014	111	1	156,3	69,0	57,2	32,24	24,44
9	04.09.2014	125	1	173,2	62,2	50,4	29,98	21,64
10	17.09.2014	138	1	185,7	54,4	46,2	19,23	17,84
11	24.09.2014	145	1	191,3	49,6	41,8	14,99	14,90
12	02.05.2014	0	2	0,1	0	0	0	0
13	21.05.2014	19	2	21,9	26,4	20,4	8,20	3,50
14	29.05.2014	27	2	34,9	34,8	27,0	12,73	7,66
15	05.06.2014	34	2	45,6	42,4	34,2	13,58	9,04
16	19.06.2014	48	2	63,8	50,0	42,2	17,25	14,90
...
216	24.07.2014	83	20	112,4	68,8	57	27,44	27,70
217	21.08.2014	111	20	156,3	76,4	65	32,81	28,52
218	04.09.2014	125	20	173,2	68,8	57	30,83	24,34
219	17.09.2014	138	20	185,7	62,0	50,4	20,36	19,80
220	24.09.2014	145	20	191,3	54,0	45,8	17,25	17,94

Все остальные 26 членов модели (1) являются бесконечномерными вейвлетами, действующими до и после вегетационного периода. При $a_{4i}=1$ амплитуда изменяется по закону Лапласа (в математике), Мандельброта (в физике), Ципфа-Перла (в биологии) и Парето (в эконометрике).

Первые пять членов (по вычислительным возможностям программной среды CurveExpert-1.40) дали меру адекватности по коэффициенту корреляции 0,8263. Это значение больше 0,7, поэтому даже первые пять членов уже дают уровень адекватности «сильная связь». Полупериод изменяется в пределах от – 31,35434 до 25,80825 сут. Причем 10 колебаний имеют постоянный полупериод, остальные получили переменные значения в период вегетации.

Графики первых шести членов из табл. 3 показаны на рис. 1.

Отказ от среднесуточной температуры и переход к измерениям через три часа дают колебание с постоянным полупериодом 0,50003 сут. Как видно из графика на рис. 1, пятый член имеет коэффициент корреляции 0,6880, что гораздо выше по сравнению с остальными членами. На втором месте находится тренд с адекватностью 0,4693. Таким образом, суточная динамика температуры воздуха через три часа является наиболее значимой.

Динамика параметров листьев березы в период вегетации

По датам измерений параметров 20 листьев за период вегетации [12] получено квантовое состояние (определяется асимметричным вейвлетом) молодой березы повислой в экологических условиях произрастания (табл. 4, рис. 2).

В отличие от [4–8; 11–13; 15–18] в данной статье не учитывается день регистрации полного опадения листьев, так как учитывается только последний замер параметров листьев в растущем состоянии.

На рис. 2 приведены графики динамики четырех параметров у 20 листьев березы повислой. На них точками показаны измерения, а линией – среднестатистический график по модели с параметрами из табл. 4. Наиболее адекватны с коэффициентами корреляции 0,9941 и 0,9935 динамики длины и ширины в среднем у 20 листьев, т.е. оказалось, что аналогичные модели динамики выявляются в

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Мазуркин П.М., Кудряшева А.И.

отношении каждого листа из множества в 20 листьев. Это обстоятельство позволяет не заниматься усреднением значений параметров, а измерять у каждого учетного листа температуру места произрастания и другие метеопараметры. Поэтому, на наш взгляд, необходимо использовать приборы автоматической регистрации показателей за период вегетации учетного листа.

Таблица 3

Параметры вейвлетов динамики температуры в период вегетации листьев березы
The parameters of the temperature dynamics wavelets during the vegetation period of birch leaves

Номер <i>i</i>	Асимметричный вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коррел. коэфф. <i>r</i>
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг <i>a</i> _{8i}	
	<i>a</i> _{1i}	<i>a</i> _{2i}	<i>a</i> _{3i}	<i>a</i> _{4i}	<i>a</i> _{5i}	<i>a</i> _{6i}	<i>a</i> _{7i}		
1	0,41351	0	-3,28833	0,037035	0	0	0	0	0,8253
2	-3,46253e-6	2,97644	0	0	0	0	0	0	
3	2,72834	0	0,00017960	1	-31,35434	42,44642	0,094531	2,60818	
4	-5,74920	0	0,014594	1,02390	5,03424	0,098726	0,63419	2,68630	
5	4,97101	0	8,61365e-5	1,59608	0,50003	0	0	-2,14578	
6	-1,37580	0	-0,0011110	1	17,03445	0,022053	0,84459	2,29248	0,3129
7	-1,42412	0	0,011504	1	6,76695	0,71671	0,45994	1,60219	0,1652
8	-0,0022698	0	-0,12331	0,80332	7,24013	0	0	-2,50247	0,1643
9	-2,49185	0	0,0093000	1	-4,20092	5,85285	0,097608	2,54280	0,3250
10	-0,37946	0	-3,69833e-5	2,15641	8,45450	-0,018547	1,00005	-1,29626	0,2343
11	-1,44159	0	0,00069336	1	3,67078	0	0	4,80100	0,3386
12	-0,73175	0	0,00057932	1,28180	3,20679	-0,00040111	1,17381	-3,47102	0,1653
13	-1,22432	0	0,0046372	1	9,20751	-6,47580e-5	1,60342	2,95897	0,2378
14	3,61357	0	0,10135	1	2,07721	0	0	-0,11635	0,1776
15	-0,34866	0	-0,0035590	1	1,72541	0	0	2,70053	0,1303
16	0,92157	0	0,012497	1	0,49120	0	0	0,57189	0,1309
17	0,26148	0	-0,042796	0,62078	4,88074	-0,00026566	1,37946	-2,16811	0,1425
18	-7,22867	0	0,93623	1	0,83667	-0,022759	0,97175	0,55149	0,1391
19	-0,46871	0	-0,0024568	1	3,45104	0,33562	0,062194	0,87030	0,1654
20	0,54200	0	0,0043089	1	3,20606	0,00076691	1,18155	1,51076	0,1187
21	0,94708	0	0,012767	1	2,35252	0	0	0,25485	0,1406
22	-0,88337	0	0,090120	0,51547	7,75878	0,00010371	1,51115	-0,31483	0,1296
23	0,76149	0	0,0055582	1	10,71743	0	0	-3,27681	0,1587
24	-0,57585	0	-0,00024575	1,52197	25,80825	0,00057160	1,37317	-1,98207	0,2247
25	-1,36832	0	0,0084705	1	2,55302	0,035400	0,33017	-3,34739	0,2557
26	0,27381	0	-0,00042279	1	6,29151	0	0	1,71078	0,0910
27	1,94352	0	0,093669	1	1,26180	0,79313	1,31170	0,44099	0,0656
28	1,36909e-8	0	-15,96346	0,021632	7,23191	-1,57756	0,061395	-0,65613	0,1793

При этом уравнение для ширины листа имеет полную конструкцию. В связи с этим, для массовых измерений во многих точках города необходимо принять учетные листья в одной зоне кроны по преимущественному направлению ветра (северо-западное) и фотографировать только измерение ширины листа.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Мазуркин П.М., Кудряшева А.И.

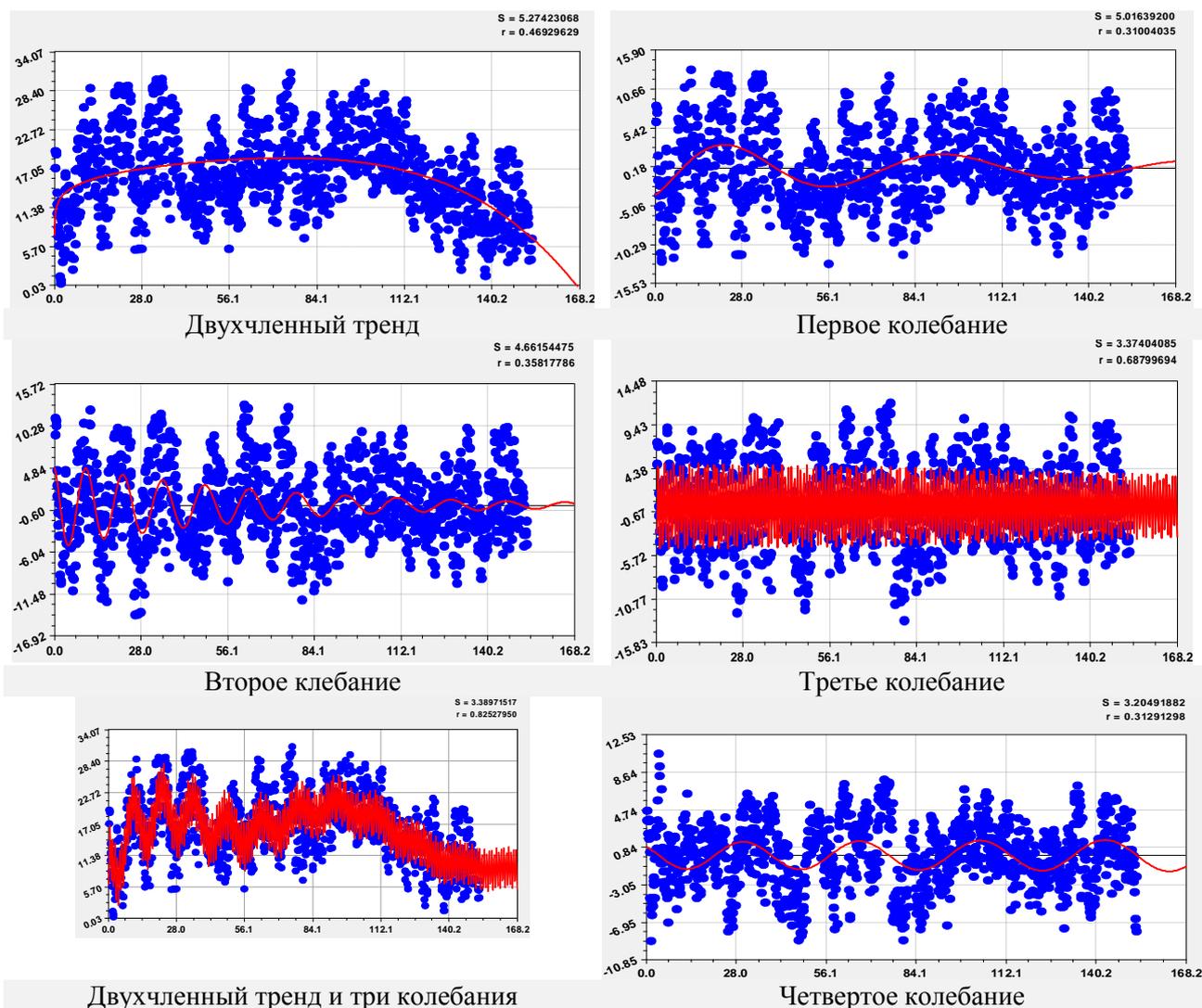


Рис. 1. Графики тренда и четырех вейвлетов с параметрами из табл. 3
Fig. 1. Charts for the trend and four wavelets with parameters from Table 3

Таблица 4

Вейвлеты динамики параметров листьев березы повислой в период вегетации
Wavelets of birch leaves parameter dynamics in the vegetation period

Номер <i>i</i>	Асимметричный вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коррел. коэфф. <i>r</i>
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
Динамика длины 20 листьев березы									
1	1,39167	1,09775	0,011964	0,99952	0	0	0	0	0,9941
2	0,099609	0,90365	0	0	45,95292	2,34423e-5	2,26544	0,96089	
Динамика ширины 20 листьев березы									
1	0,87929	1,17816	0,012850	0,99995	0	0	0	0	0,9935
2	8,83115e-6	3,45915	0,0055617	1,32250	40,30155	3,19642e-5	2,25014	1,92260	
Динамика периметра 20 листьев березы									
1	1,06342	0,77818	0,00075485	1,39010	0	0	0	0	0,9777
2	-7,13684e-14	8,45338	0,068671	1	294,77474	-206,02919	0,036475	3,52828	
Динамика площади 20 листьев березы									
1	0,013004	2,13263	0,023108	0,99981	0	0	0	0	0,9873
2	0,0016393	1,81936	0,00069461	1,55362	41,16744	2,41281e-5	2,24202	1,88031	

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Мазуркин П.М., Кудряшева А.И.

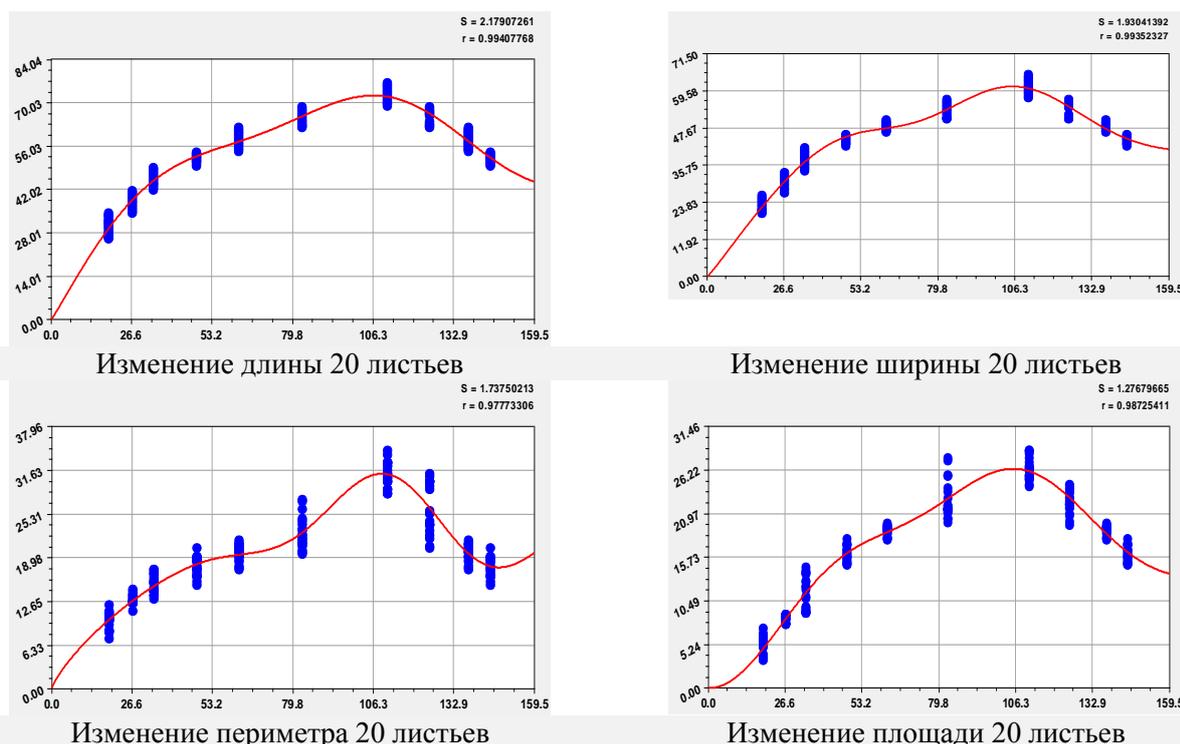


Рис. 2. Графики динамики параметров у 20 листьев молодой березы повислой
Fig. 2. Parameter dynamics in 20 leaves of a young birch

Таблица 5

Динамика суммы температур и её влияния на параметры листьев березы
Dynamics of the sum of temperatures and its influence on the birch leaves parameters

Номер <i>i</i>	Асимметричный вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коррел. коэфф. <i>r</i>
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}		
Динамика суммы температур 0.01Т за период вегетации листьев березы									
1	0,59065	1,24165	0,0026768	0,99860	0	0	0	0	0,9999
2	0,51011	0	-0,53646	0,28435	44,37374	-1,77626e-5	2,29264	2,17075	
Влияние суммы температур на длину у 20 листьев березы повислой									
1	1,80482	0,92850	0,0076228	0,98558	0	0	0	0	0,9939
2	1,82225	0	-3,97285e-5	2,09431	43,40640	0,31637	0,76543	1,48122	
Влияние суммы температур на ширину у 20 листьев березы повислой									
1	2,77029	0,68854	0,00011379	1,64620	0	0	0	0	0,9938
2	0,39753	0	-0,019306	0,98201	41,52704	0,00010330	2,06204	3,86705	
Влияние суммы температур на периметр у 20 листьев березы повислой									
1	4,04012	1,12737	1,41961	0,19515	0	0	0	0	0,9779
2	0,00058887	0	-1,26350	0,39173	103,22191	-1,39091	0,65227	-5,73573	
Влияние суммы температур на площадь у 20 листьев березы повислой									
1	0,14572	1,16878	0,00015458	1,69323	0	0	0	0	0,9876
2	0,17470	0	-0,0081304	1,17515	22,84272	0,0024102	1,64321	1,61033	

Динамика суммы температур за время вегетации листьев березы

Активная температура – минимальная температура, при которой начинается вегетация конкретного вида растений. Сумма активных (эффективных) температур характеризует количество тепла. При этом мы используем не среднесуточную температуру, а реально измеренные на метеорологической станции значения температуры через каждые три часа. Сумма температур (табл. 2) показывает накапливаемую энергию. Этот кумулятивный показатель оказался удобнее по

сравнению с текущей температурой воздуха. Началом динамики является момент распускания почек березы, а концом – последнее измерение параметров листьев до их опадения.

В табл. 5 даны параметры модели (1) с коэффициентом корреляции 0,9999.

Тренд в виде биотехнического закона [29;30] дает коэффициент корреляции 0,9992. Получается, что все кванты воздействия (рис. 3) суммы температур без тренда находятся в пределах $1-0,9992=0,0008$. Остатки после двухчленной модели с параметрами из табл. 5 на рис. 3 показывают возможность идентификации и других вейвлетов, но с меньшими значениями коэффициента корреляции. Именно кванты с малыми значениями суммы температур определяют жизнедеятельность листьев и всего дерева березы в целом.

Листья в вегетационный период растут и развиваются колебательной адаптацией к сумме температур. Необходимо продолжить исследования динамических рядов температуры на метеорологических станциях и сравнить с динамикой поведения листьев березы повислой (и других видов деревьев).

Эти исследования позволят развить фитометеорологию для точек Земли и выявить закономерности для противодействия глобальному потеплению.

Влияние суммы температур на рост листьев березы по длине

Далее рассмотрим влияние суммы температур на 20 учетных листьев. Параметры моделей с одним квантом указаны в табл. 5. На рис. 4 даны графики изменения длины листьев от суммы температур.

По сравнению с динамикой влияния времени вегетации влияние суммы температур через каждые три часа дает более четкую картину. Например, тренд и квантовое возмущение по графику на рис. 4 показывают резкий спад длины листа, а по графику на рис. 2 изменение во времени не дает такого резкого снижения. Этот факт доказывает, что не время властно над процессом вегетации, а именно сумма температур. Аналогичные по конструкции модели были получены для ширины, периметра и площади учетных листьев.

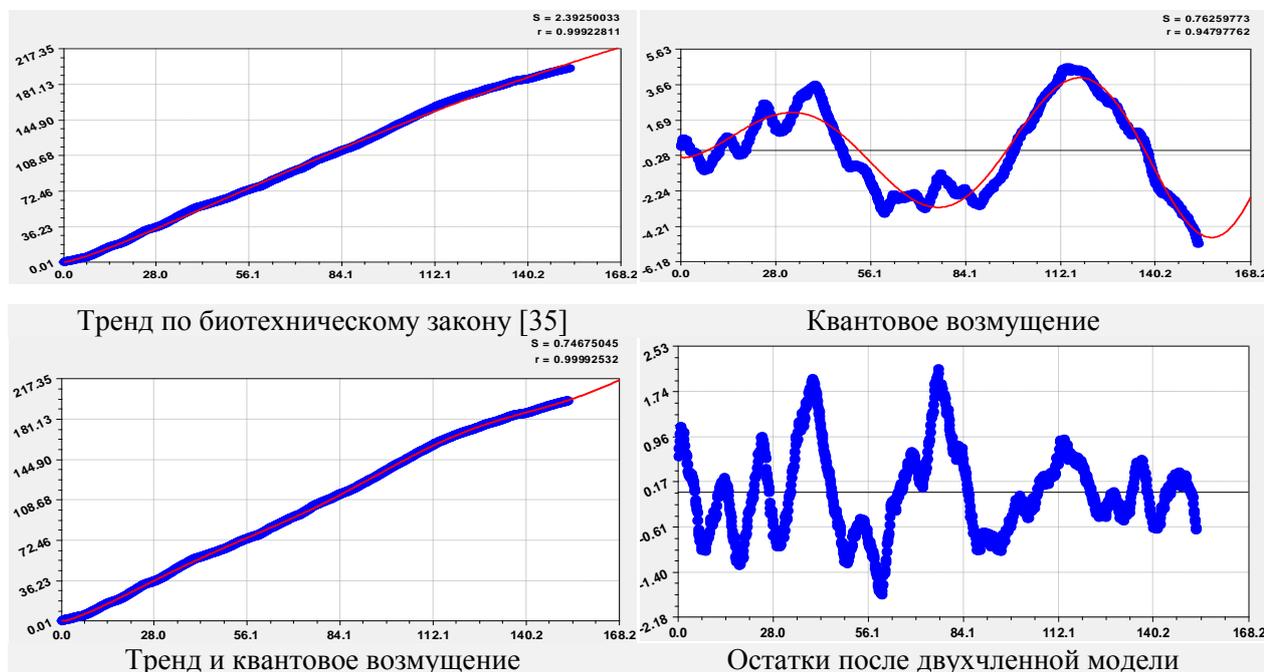


Рис. 3. Динамика суммы температур 0.01Т за период вегетации листьев березы
Fig. 3. Dynamics of the sum of temperatures 0.01T for the period of birch leaves vegetation

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Мазуркин П.М., Кудряшева А.И.

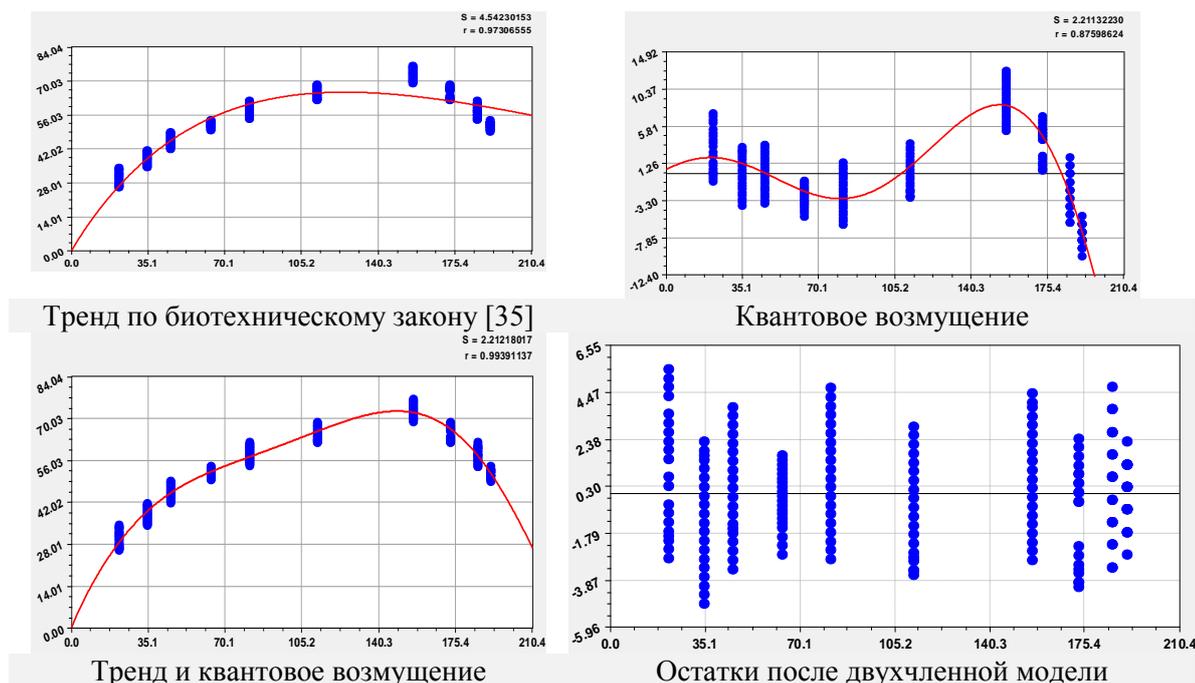


Рис. 4. Влияние суммы температур 0.01Т за вегетацию на длину листьев березы
Fig. 4. Effects of the 0.01T sum of temperatures on the length of birch leaves over the vegetation period

Сравнение и выбор наилучшего параметра листьев

В табл. 6 приведены коэффициенты корреляции закономерностей у всех распределений. Влияние суммы температур было взято из данных табл. 5, а в диагональных клетках влияния длины и ширины листьев поставлены коэффициенты корреляции закономерностей динамики из табл. 4.

Коэффициент коррелятивной вариации множества факторов физического объекта исследования равен отношению общей суммы коэффициентов корреляции к произведению количества факторов по строкам и столбцам. В итоге образуется показатель, характеризующий всю изучаемую систему.

В нашем примере, по данным табл. 6, коэффициент коррелятивной вариации составляет $11,8830/(3 \times 4) = 0,9903$. Это значение очень высокое для оценки функциональной связности отдельных элементов системы «температура воздуха – листья березы повислой» в экологически чистых условиях.

По рейтингу среди влияющих переменных на первом месте оказалась длина листа молодой березы, на втором – ширина листа, а только на третьем месте – сумма температур. Как показатель на первом месте также находится длина листа, на втором – ширина листа. При этом длина и ширина листьев имеют почти одинаковую адекватность. Поэтому в связи с простотой измерений в будущих экспериментах принимаем ширину листа.

Таблица 6

Корреляционная матрица и рейтинг факторов
Correlation matrix and factor rating

Факторы как объясняющие переменные x	Факторы - показатели y				Сумма коэф. коррел.	Рей- тинг I_x
	a мм	b мм	P см	S см ²		
Сумма температур Σ_T	0,9939	0,9938	0,9779	0,9876	3,9532	3
Длина листа a . мм	0,9941	0,9999	0,9746	0,9964	3,9650	1
Ширина листа b . мм	0,9998	0,9935	0,9740	0,9975	3,9648	2
Сумма коэфф. коррел.	2,9878	2,9872	2,9265	2,9815	11,8830	-
Рейтинг I_y	1	2	4	3	-	0,9903

Выводы

Поведение каждого листа происходит как колебательная адаптация к изменениям окружающей этот лист среды. Причем адаптация происходит по множеству убывающих квантов взаимодействия. По датам измерений параметров 20 листьев за период вегетации березы повислой получено квантовое состояние в чистых экологических условиях произрастания.

Текущее время вегетации учитывается через каждые три часа. Температура воздуха в приземном слое принимается по данным метеостанции. Затем вычисляется кумулята температуры. Из ряда трехчасовых измерений температуры мы выделяем квантовое состояние в виде суммы вейвлетов, определяемое периодом вегетации листьев березы как сезонный квант времени. Тогда в фитометеорологии первый уровень квантования метеоданных заключается в учете начала и конца вегетационного периода березы повислой.

Сумма температур показывает накапливаемую энергию. Этот кумулятивный показатель оказался удобнее по сравнению с текущей температурой воздуха. Началом динамики является момент распускания почек березы, а концом – последнее измерение параметров листьев до их опадения.

Листья в вегетационный период растут и развиваются колебательной адаптацией к сумме температур. Необходимо продолжить исследования динамических рядов температуры на метеостанциях и сравнить с динамикой поведения листьев березы повислой (и других видов деревьев). Это позволит развить фитометеорологию для многих точек Земли и выявить закономерности фитоклимата для противодействия возрастающему глобальному потеплению.

Коэффициент коррелятивной вариации множества факторов равен отношению общей суммы коэффициентов корреляции к произведению количества факторов по строкам и столбцам. В итоге образуется показатель, характеризующий изучаемую систему факторов. Он равен 0,9903. Это значение высокое для оценки функциональной связности системы «температура воздуха - листья березы повислой» в экологически чистых условиях.

Наибольшие коэффициенты корреляции имеют длина и ширина учетного листа березы повислой. Поэтому из факторного анализа в табл. 6 исключили периметр и площадь листа. По рейтингу среди влияющих переменных на первом месте оказалась длина листа молодой березы, на втором – ширина листа, а только на третьем месте – сумма температур. Как показатель на первом месте также находится длина листа, на втором – ширина листа.

Библиографический список

1. Гедзенко Д.В., Задорожная Т.Н., Закусилов В.П. Исследование асинхронных связей между термическим режимом приэкваториальной зоны Земного шара и Северного полушария // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. № 1(44). С. 90–95. doi 10.17072/2079-7877-2018-1-90-95.
2. Исаков С.В., Шкляев В.А. Оценка поступления солнечной радиации на естественные поверхности с применением геоинформационных систем // Географический вестник. 2012. № 1(20). С. 72–80.
3. Костарева Т.В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края // Географический вестник=Geographical bulletin. 2017. № 2(41). С. 91–99. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99.
4. Кудряшова А.И. Закономерности динамики роста листьев дерева // Социально-экономическое развитие территории: мат. II Межд. науч.-практ. конф. Пенза, 2015. С. 124–133.
5. Кудряшова А.И. Описательная статистика параметров формы листьев липы // Проблемы рекреационных насаждений, интродукции и сохранения биоразнообразия растительного мира: матер. Рос. науч.-практ. конф. с ежд. участием, посв. 25-летию организации Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. Чебоксары, 2014. С. 27–30.
6. Кудряшова А.И. Способ анализа онтогенеза листьев березы у автомобильной дороги // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. 2014. № 5. С. 100–103.
7. Кудряшова А.И. Способ измерения динамики роста листьев дерева // Социально-экономическое развитие территории: мат. II Межд. науч.-практ. конф. Пенза, 2015. С. 115–123.
8. Кудряшова А.И. Способ измерения периметра и площади листа дерева // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. 2014. № 3. 2014. С. 17–20.
9. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Методика оценки будущих региональных температурных условий (на примере Костромской области) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. № 1(36). С. 58–69. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-58-69.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.

10. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. № 3(38). С. 79–89. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-79-89.
11. Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. Волновая динамика онтогенеза листьев загрязненной около автомобильной дороги липы. Междунар. научно-иссл. журнал. 2015. URL: <http://research-journal.org/> (дата обращения: 20.07.2018).
12. Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. Динамика онтогенеза листьев дерева. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. 172 с.
13. Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. Закономерности онтогенеза листьев деревьев. Динамика роста листьев липы и березы в чистой и загрязненной автомобильными выхлопами городской среде. Германия: LAB LAMBERT Academic Publishing, 2015. 100 с.
14. Мустафина А.Б. Изменения основных климатических показателей на территории Республики Татарстан за период 1966–2013 гг. // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. № 2(41). С. 99–108. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108.
15. Пат. 2597643 РФ, МПК G 01 D 21 / 00 (2006.01). Способ анализа динамики роста в онтогенезе загрязненных листьев березы около автомобильной дороги / Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.; заявитель и патентообл. Мазуркин П.М. №2015112152/28; заявл. 03.04.2015; опубл. 20.09.2016. Бюл. № 26.
16. Пат. 2597645 РФ, МПК G 01 D 21 / 00 (2006.01). Способ измерения динамики роста листьев дерева в чистых экологических условиях / Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.; заявитель и патентообл. Мазуркин П.М. №2015105273/28; заявл. 17.02.2015; опубл. 20.09.2016. Бюл. № 26.
17. Пат. 2606189 Российская Федерация, МПК G 01 D 21 / 00 (2006.01). Способ факторного анализа онтогенеза учетных листьев дерева / Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.; заявитель и патентообл. Мазуркин П.М. №2015112149; заявл. 03.04.2015; опубл. 10.01.2017. Бюл. № 1.
18. Пат. 2615363 Российская Федерация, МПК G 01 B 05 / 26, G 01 N 35 / 00 (2006.01). Способ анализа онтогенеза чистых листьев дерева / Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.; заявитель и патентообл. Мазуркин П.М. №2015105705; заявл. 19.02.2015; опубл. 04.04.2017. Бюл. № 10.
19. Придача В.Б., Позднякова С.В. Метрические параметры листьев и биохимические особенности *Betula pendula* Var. *Pendula* и *B. Pendula* Var. *Carelia* и их сезонная динамика // Ботанический журнал. 2010. Т. 95. № 11. С. 1595–1605.
20. Сточкуте Ю.В., Василевская Л.В. Многолетние изменения температуры воздуха и почвы на крайнем северо-востоке России // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. № 2(37). С. 84–96. doi:10.17072/2079-7877-2016-2-84-96.
21. Ушаков М.В. Современные изменения термического режима вегетационного и зимнего периодов на Чукотке // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. № 2(41). С.81–91. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-81-91.
22. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории // Географический вестник. 2010. № 3(14). С. 17–26.
23. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Особенности долговременных изменений характеристик вегетационных периодов в Пермском крае // Географический вестник. 2012. № 2(21). С. 68–73.
24. Шкляев В.А., Полин Д.Н. Районирование территории Пермского края по показателям отопительного периода // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. № 4(43). С. 123–135. doi 10.17072/2079-7877-2017-4-123-135.
25. Hondula D.M. et al. Biometeorology for cities. Int J Biometeorol (2017) 61 (Suppl 1):S59–S69. doi 10.1007/s00484-017-1412-3.
26. Kasurinen A. et.al. Interactive effects of elevated ozone and temperature on carbon allocation of silver birch (*Betula pendula*) genotypes in an open-air field exposure. Tree Physiology 32, 737–751. doi 10.1093/treephys/tps005.
27. Khandaker L. et.al. Air temperature and sunlight intensity of different growing period affects the biomass leaf color and betacyanin pigment accumulations in red amaranth (*amaranthus tricolor* L.). Journal Central European Agriculture. Volume 10 (2009). No. 4 (439–448).
28. Mayer H. Urban bioclimatology. Article in Experientia. December, 1993. DOI: 10.1007/BF02125642. PubMed: Urban_bioclimatology_Experientia_49_1993_957-963.pdf.
29. Mazurkin P.M. Invariants of the Hilbert Transform for 23-Hilbert Problem, Advances in Sciences and Humanities. Vol. 1, No. 1, 2015, pp. 1–12. doi: 10.11648/j.ash.20150101.11.
30. Mazurkin P.M. Method of identification. International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2014, 1(6), pp. 427–434.
31. Polgar C.A., Primack R.B. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems / New Phytologist. 2011. Vol.191,4. doi 10.1111/j1469-8137.2011.03803.x.
32. Takhtajan A.L. Floristic regions of the world. The Regents of the University of California 1986. 523 p.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.

33. Thitz P. et.al. Production of glandular trichomes responds to water stress and temperature in silver birch (*Betula pendula*) leaves/ *Canadian Journal of Forest Research*, 2017, 47(8): 1075-1081, doi 10.1139/cjfr-2017-0036.

References

1. Gudzenko, D.V., Zadorozhnaya, T.N., Zakusilov, V.P. (2018), "Study of asynchronous connections between the thermal regime of the near-Equatorial zone of the Globe and the Northern hemisphere", *Geographical bulletin*, No. 1(44), pp. 90–95. doi 10.17072 / 2079-7877-2018-1-90-95.
2. Isakov, S.V., Shklyaev, V.A. (2012), "Evaluation of the intensity of the solar radiation on a natural surface with the use of geographic information systems", *Geographical bulletin*, No. 1(20), pp. 72–80.
3. Kostareva, T.V. (2017), "Taking into account the influence of meteorological factors in the development of schemes of air pollution forecast in the cities of Perm Kra", *Geographical bulletin*, No. 2(41), pp. 91–99. doi 10.17072 / 2079-7877-2017-2-91-99.
4. Kudryashova, A.I. (2015), "Regularities in the growth dynamics of tree leaves", II international scientific and practical conference «Socio-economic development of the territory», Penza, 2015, pp. 124–133.
5. Kudryashova, A.I. (2014) "Descriptive statistics of parameters of leaf shape", Problems of recreational plantings, introduction and conservation of biodiversity of the plant world, *Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 25th anniversary of the Cheboksary branch of The main Botanical garden. N. In. Tsitsin Russian Academy of Sciences*, Cheboksary, 2014, pp. 27–30.
6. Kudryashova, A.I. (2014) "Method of analysis of birch leaves ontogenesis at the road", V international scientific-practical conference «Actual problems of science and economy: new challenges and solutions», SPb., 2014, No. 5, pp. 100–103.
7. Kudryashova, A.I. (2015) "Method of measuring the dynamics of growth of tree leaves", II international scientific and practical conference «Socio-economic development of the territory», Penza, 2015, pp. 115–123.
8. Kudryashova, A.I. (2014) "Method of measuring the perimeter and the area of the tree leaf", III international scientific and practical conference «Actual issues of science and economy: new challenges and solutions», SPb., 2014, No. 3, pp. 17–20.
9. Lobanov, V.A., Toshchakova, G.G. (2016) "Methods of estimation of future regional temperature conditions (on the example of Kostroma region)", *Geographical bulletin*, No. 1(36), pp. 58–69.
10. Lobanov, V.A., Toshchakova, G.G. (2016) "Features and causes of modern climate change in Russia", *Geographical bulletin*, No. 3(38), pp. 79–89. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-79-89.
11. Mazurkin, P.M., Kudryashova, A.I. (2015), "Wave dynamics of leaf ontogenesis polluted near the highway Linden", Available at: <http://research-journal.org:international-research-journal> (Accessed 20.07.2018).
12. Mazurkin, P.M., Kudryashova, A.I. (2015) Dynamics of the ontogeny of the leaves of the tree, PGTU, Yoshkar-Ola, Russia.
13. Mazurkin, P.M., Kudryashova, A.I. (2015) Regularities of ontogenesis of leaves of trees. Dynamics of growth of the leaves of lime and birch in pure and polluted by automobile exhaust in the urban environment, LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany.
14. Mustafina, A.B. (2017) "Changes in the basic climatic indicators in the territory of the Republic of Tatarstan for the period 1966–2013", *Geographical bulletin*, No 2(41), pp. 99–108. doi 10.17072 / 2079-7877-2017-2-99-108.
15. Pat. 2597643 Russian Federation, IPC G 01 D 21 / 00 (2006.01). Method of analysis of the dynamics of growth in ontogenesis polluted birch leaves around the road / Mazurkin P. M., Kudryashova A. I.; applicant and patentable. Mazurkin P. M. No. 2015112152/28; Appl. 03.04.2015; publ. 20.09.2016. Bul. No. 26.
16. Pat. 2597645 Russian Federation, IPC G 01 D 21 / 00 (2006.01). The way to measure the growth dynamics of tree leaves in a clean ecological conditions Mazurkin P. M., Kudryashova A. I.; applicant and patentable. Mazurkin P. M. No. 2015105273/28; Appl. 17.02.2015; publ. 20.09.2016. Bul. No. 26.
17. Pat. 2606189 Russian Federation, IPC G 01 D 21 / 00 (2006.01). Method factor analysis of the ontogeny of the account tree leaves / Mazurkin P. M., Kudryashova A. I.; applicant and patentable. Mazurkin P. M. No. 2015112149; Appl. 03.04.2015; publ. 10.01.2017. Bul. No. 1.
18. Pat. 2615363 Russian Federation, IPC G 01 B 05 / 26, G 01 N 35 / 00 (2006.01). Method of analysis of the ontogenesis of clean tree leaves / Mazurkin P. M., Kudryashova A. I.; applicant and patentable. Mazurkin P. M. No. 2015105705; Appl. 19.02.2015; publ. 04.04.2017. Bul. No. 10.
19. Pridacha, V.B., Pozdnyakova, S.V. (2010) "Metric parameters of leaves and biochemical features of *Betula pendula* Var. *Pendula* and *B. Pendula* Var. *Carelia* and their seasonal dynamics", *Botanical journal*, Vol. 95, No. 11, pp. 1595–1605.
20. Stockade, Y.V., Vasilevskaya, L.V. (2016) "Long-term izmeneniia temperature of the air and soil in the extreme North-East of Russia", *Geographical bulletin*, No. 2(37), pp. 84–96. doi 10.17072/2079-7877-2016-2-84-96.
21. Ushakov, M.V. (2017) "Modern changes in the thermal regime of the vegetation and winter periods in Chukotka", *Geographical bulletin*, No. 2(41), pp. 81–91. doi 10.17072 / 2079-7877-2017-2-81-91.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.

22. Shklyayev, V.A., Ermakova, L.N., Shklyayeva, L.S. (2010) "Study of the microclimate of the city in order to assess the biometeorological indicators of the residential area", *Geographical Bulletin*, No. 3(14), pp. 17–26.
23. Shklyayev, V.A., Ermakova, L.N., Shklyayeva, L.S. (2012) "Features of long-term changes in the characteristics of vegetation periods in the Perm region", *Geographical Bulletin*, No. 2(21), pp. 68–73.
24. Shklyayev, V.A., Polin, D.N. (2017) "Zoning of territory of Perm region on indicators of the heating period", *Geographical bulletin*, No. 4(43), pp. 123–135. doi 10.17072 / 2079-7877-2017-4-123-135.
25. Hondula D.M. et al. Biometeorology for cities. *Int J Biometeorol* (2017) 61 (Suppl 1):S59–S69. doi 10.1007/s00484-017-1412-3.
26. Kasurinen, A. et al. Interactive effects of elevated ozone and temperature on carbon allocation of silver birch (*Betula pendula*) genotypes in an open-air field exposure. *Tree Physiology* 32, 737–751. doi:10.1093/treephys/tps005.
27. Khandaker, L. et al., (2009) "Air temperature and sunlight intensity of different growing period affects the biomass leaf color and betacyanin pigment accumulations in red amaranth (*amaranthus tricolor* L.)", *Journal Central European Agriculture*, Vol. 10, No. 4, pp. 439–448.
28. Mayer, H. (1993) Urban bioclimatology. Article in *Experientia*. December, 1993. doi 10.1007/BF02125642. PubMed: Urban_bioclimatology_Experientia_49_1993_957-963.pdf.
29. Mazurkin, P.M. (2015) "Invariants of the Hilbert Transform for 23-Hilbert Problem", *Advances in Sciences and Humanities*, Vol. 1, No. 1, pp. 1–12. doi 10.11648/j.ash.20150101.11.
30. Mazurkin P.M. Method of identification. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2014, 1(6), pp. 427–434.
31. Polgar, C.A., Primack, R.B. (2011) "Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems", *New Phytologist*, Vol. 191, No.4. doi 10.1111/j.1469-8137.2011.03803.x.
32. Takhtajan, A.L. *Floristic regions of the world*. The Regents of the University of California, 1986.
33. Thitz, P. et al. (2017) "Production of glandular trichomes responds to water stress and temperature in silver birch (*Betula pendula*) leaves", *Canadian Journal of Forest Research*, No. 47(8), pp. 1075–1081. doi 10.1139/cjfr-2017-0036.

Поступила в редакцию: 13.08.2018

Сведения об авторах

Мазуркин Петр Матвеевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой природообустройства,
Поволжский государственный технологический
университет;
Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

e-mail: kaf_po@mail.ru

Кудряшова Анастасия Игоревна

старший преподаватель кафедры
природообустройства,
Поволжский государственный технологический
университет;
Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

e-mail: Little-one7@yandex.ru

About the authors

Petr M. Mazurkin

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the
Department of Environmental Engineering, Volga State
University of Technology; 3, ploshchad Lenina,
Yoshkar-Ola, 424000, Russia

Anastasia I. Kudryashova

Senior Lecturer, Department of Environmental
Engineering, Volga State University of Technology;
3, ploshchad Lenina, Yoshkar-Ola, 424000, Russia

Пробьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. Городская фитометеорология: влияние суммы температур на онтогенез листьев березы повислой // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №4(51). С. 45–58. doi 10.17072/2079-7877-2019-4-45-58.

Please cite this article in English as:

Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. Urban phytometeorology: the influence of the sum of temperatures on the ontogenesis of birch leaves // Geographical bulletin. 2019. №4(51). Pp. 45–58. doi 10.17072/2079-7877-2019-4-45-58.