

Г.Н. Бузук

## МОРФОМЕТРИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ. 1. VACCINIUM VITIS-IDAEA L.: ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЛИСТЬЕВ

Витебский государственный медицинский университет

*Изучено распределение листьев брусники в пределах побега прироста текущего года по форме и размерам с помощью дескрипторов формы и эллиптических дескрипторов Фурье. Установлено, что наиболее пригодным для характеристики особей и ценопопуляции в целом по форме и размерам листьев является «медианный» лист этого растения.*

Изучению влияния различных экологических факторов на морфологию и анатомию листьев посвящены многочисленные исследования [1, 2-7]. При этом отмечается, что количественные признаки листьев могут служить для оценки сходства и различий экоценологических режимов участков местообитания [8, 9], индикатором изменения условий произрастания [10] и являться критерием эффективности действия того или иного фактора на продуктивность растений [11].

Имеются также весьма многочисленные данные о влиянии экологических условий на содержание в различных органах и структурах растений, в том числе и листьях, различных биологически активных веществ, таких как фенольные соединения, алкалоиды, терпеноиды и др. [12, 13, 14, 15, 16].

Однако взаимосвязь между морфологическими параметрами листьев, такими как длина, ширина, площадь, периметр, форма и накоплением в них различных групп вторичных соединений практически не изучена, хотя данное обстоятельство представляет несомненный интерес для практики: на основе видимых и легко определяемых морфологических признаков прогнозировать содержание биологически активных веществ в лекарственных растениях.

Необходимой предпосылкой такого рода исследований является разработка методических подходов, включая методику взятия репрезентативных образцов, в наибольшей степени отражающих влияние экологических условий на форму и размеры листьев отдельных особей и ценопопуляции в целом изучаемого вида, которая не должна быть трудоемкой и легко выполняться в полевых условиях. Это и обусловило необходимость проведения настоящего исследования

Цель настоящей работы – исследование взаимосвязей между морфологическими параметрами листьев брусники, такими как длина, ширина, площадь, дескрипторы формы в зависимости от расположения листьев на побеге.

Выбор в качестве объекта исследования брусники (*Vaccinium vitis-idaea L.*) был обусловлен широким распространением и значительной амплитудой варьирования экологических условий произрастания данного растения, а также ее несомненным значением для медицины.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На учетных площадках, заложенных в различных фитоценозах, случайным образом срезали 70-100 вегетативных побегов брусники прироста текущего года. С 4-5 побегов отделяли все листья, которые фиксировали в полевых условиях в порядке их расположения на побеге на клейкой прозрачной ленте (скоч), закрывали фильтровальной бумагой и закладывали в гербарный пресс. Далее поступали как при сушке обычного гербария.

Для измерения морфологических параметров листьев полученный гербарий сканировали (сканер EPSON Perfection 1270, RGB, 24 bit, 150 dpi).

Полученные изображения обрабатывали с помощью программы ImageJ 1.37d и подпрограмм [http://www.gcscanet/IJ/Shape\\_Descriptor1m.java](http://www.gcscanet/IJ/Shape_Descriptor1m.java) и [http://www.optinav.com/download/Measure\\_Roi\\_Curve.java](http://www.optinav.com/download/Measure_Roi_Curve.java).

Определяли следующие параметры и дескрипторы формы:

- Area - площадь листа;

- Perimeter – периметр листа;
- Major axis, Minor axis – большая и малая оси эллипса, описанного вокруг листа;
- Ferrets diameter – длина листа (по прямой);
- Curve length (Curve L) – длина листа (по кривизне);
- Curve width (Curve W) – ширина листа (по кривизне);
- Form factor =  $(4 \pi * \text{Area}) / (\text{Perimeter})^2$ ;
- Roundness =  $(4 * \text{Area}) / (\pi * \text{Major axis})$ ;
- Compactness =  $\sqrt{(4 \pi * \text{Area}) / (\text{Major axis})}$ ;
- Aspect ratio (AR) =  $(\text{Major axis}) / (\text{Minor axis})$ ;
- Effective diameter =  $\sqrt{(\text{Area}/\pi) * 2}$ ;
- Solidity =  $(\text{Area}/\text{Convex area})$ ;
- Convexity =  $(\text{Convex perimeter}) / (\text{Perimeter})$ .

Статистическую обработку полученных данных проводили методами корреляционного и регрессионного анализа с использованием

пакетов программ Matlab 7 и Excel 2002.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Были проведены измерения 396 листьев из 7 ценопопуляций брусники, произрастающей в различных по возможности контрастных экологических условиях (сосняки, смешанный лес, пустошь, гарь, верховое и низинное болота).

Проведенный корреляционный анализ матрицы данных (табл. 1) выявил высокодостоверные линейные зависимости между определяемыми параметрами листьев брусники (Area, Perimeter, Curve L, Major axis, Ferrets diameter Curve W, Minor axis).

Это позволило предложить регрессионные уравнения для площади и периметра на листьях основании измерения их длины и ширины (табл. 2).

Таблица 2

Уравнения регрессии и их характеристики параметров листьев.

Area = -125,487 + 6,955 Major + 16,415 Minor					
n	396	s	21,02469	d	0,773595
R <sup>2</sup>	0,964323	Adj R <sup>2</sup>	0,964141	Raw R <sup>2</sup>	0,99083
Area = -131,962 + 5,904 Curve L + 16,245 Curve W					
n	396	s	22,87216	d	0,791171
R <sup>2</sup>	0,957778	Adj R <sup>2</sup>	0,957563	Raw R <sup>2</sup>	0,989148
Perim = -0,678 + 2,215 Major + 1,238 Minor					
n	396	s	1,72225	d	1,407628
R <sup>2</sup>	0,993168	Adj R <sup>2</sup>	0,993133	Raw R <sup>2</sup>	0,99927
Perim = -3,204 + 1,999 Curve L + 1,064 Curve W					
n	396	s	0,805929	d	1,61093
R <sup>2</sup>	0,998504	Adj R <sup>2</sup>	0,998496	Raw R <sup>2</sup>	0,99984

Данные о зависимости исследованных параметров листьев брусники от их расположения на побеге прироста текущего года, представлены на рис. 1-13.

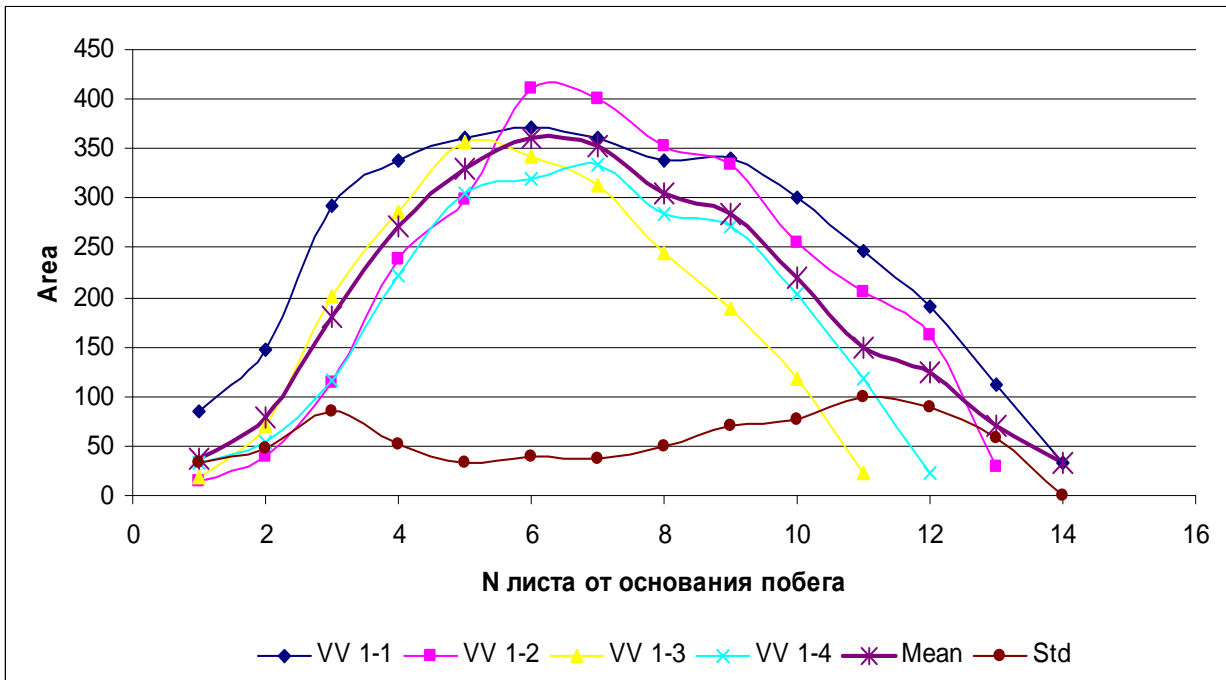


Рис. 1. Зависимость Area от расположения на побеге прироста текущего года.  
 Примечание: VV 1-1 – VV1-4 – побеги, Mean – средняя арифметическая, Std – стандартное отклонение.

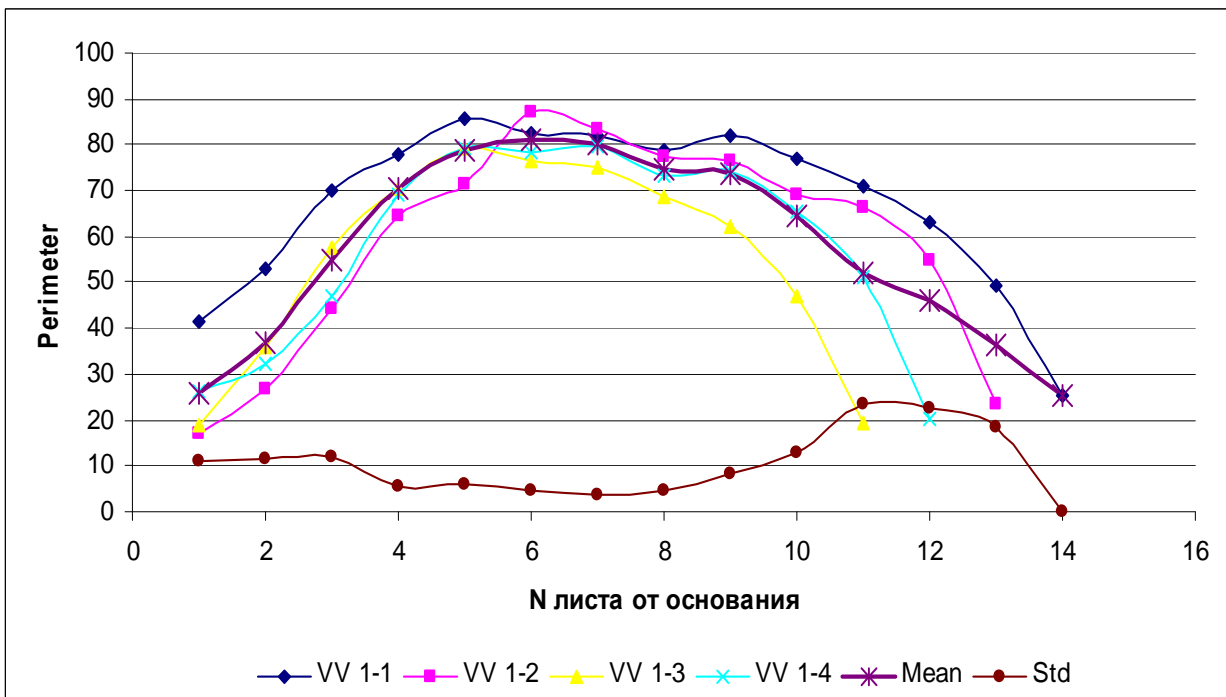


Рис. 2. Зависимость Perimeter от расположения на побеге прироста текущего года.

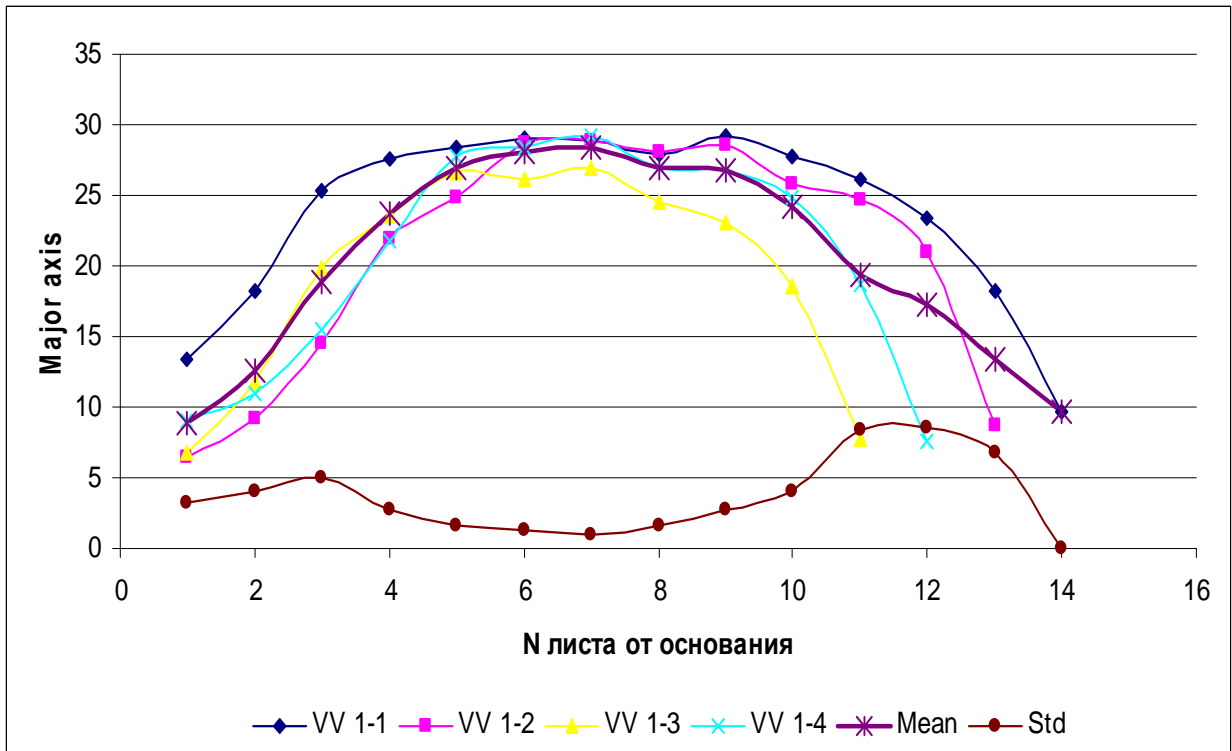


Рис. 3. Зависимость Major axis от расположения на побеге прироста текущего года.

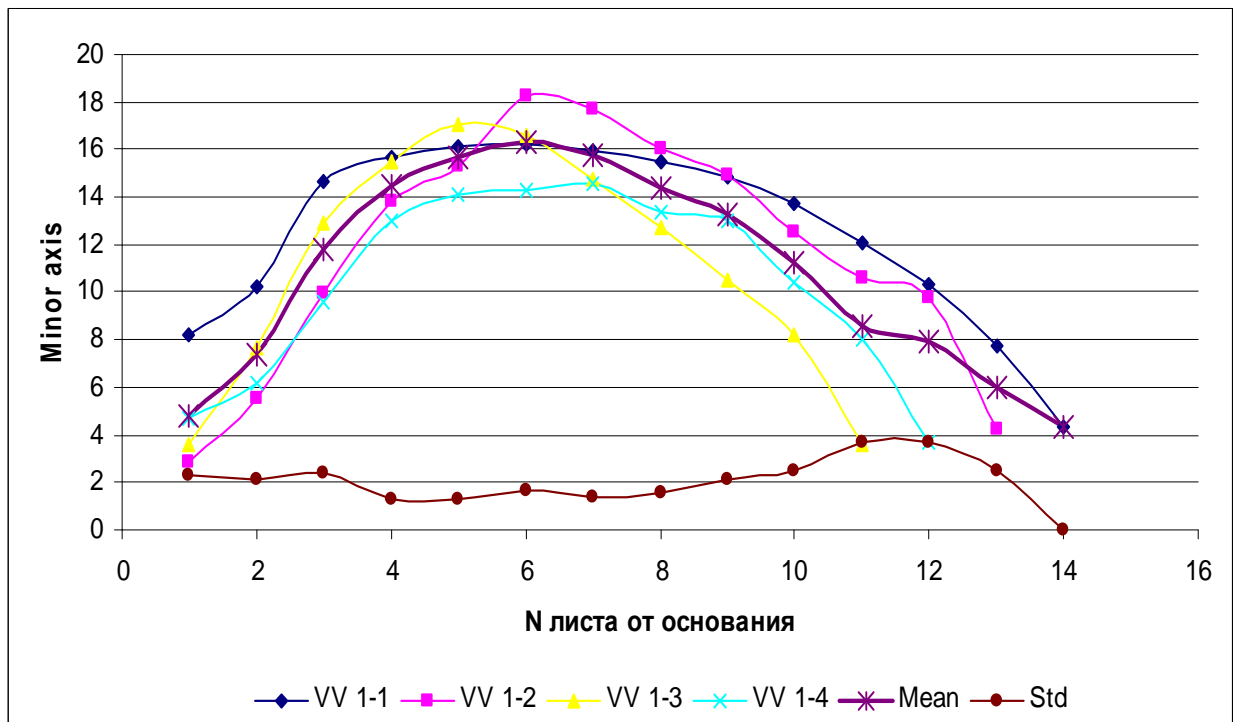


Рис. 4. Зависимость Minor axis от расположения на побеге прироста текущего года.

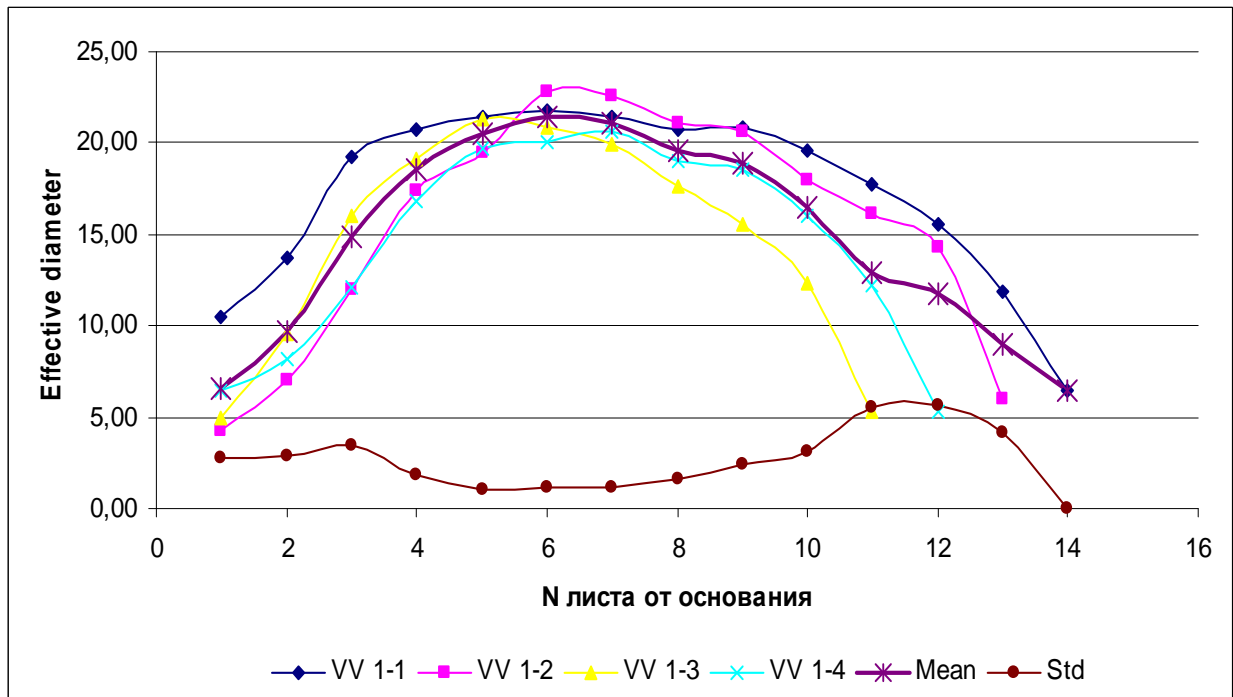


Рис. 5. Зависимость Effective diameter от расположения на побеге прироста текущего года.

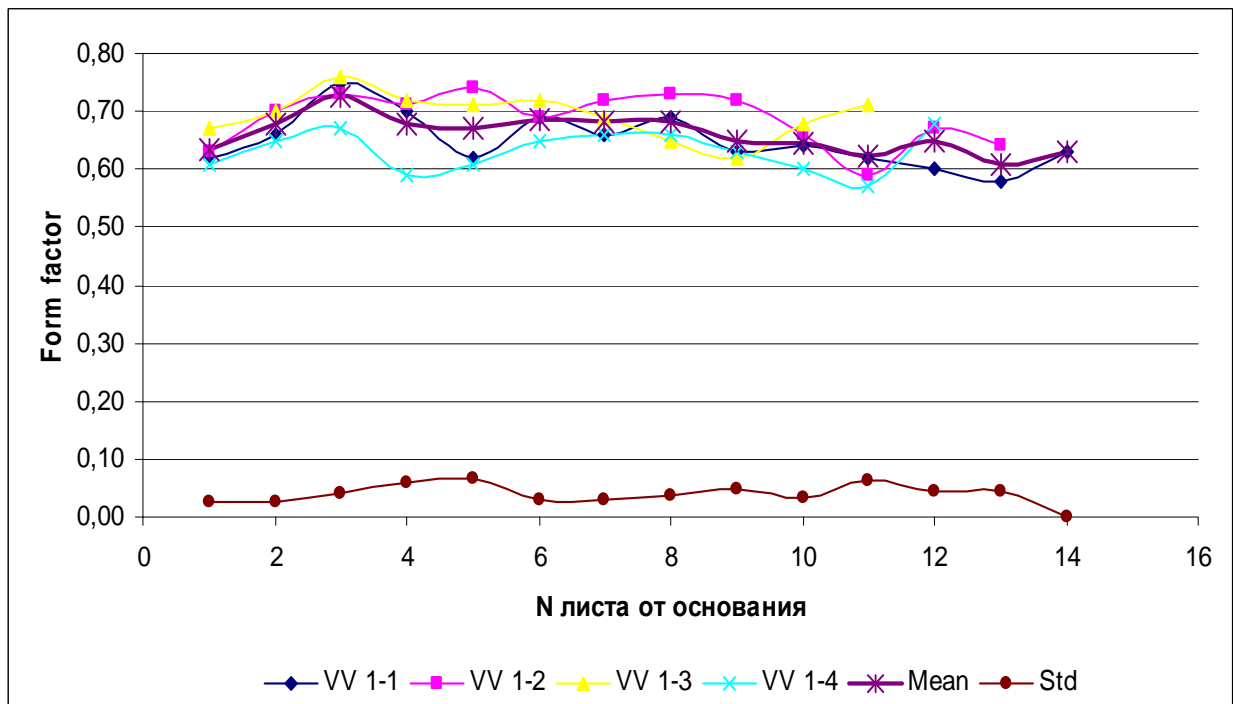


Рис. 6. Зависимость Form factor от расположения на побеге прироста текущего года.

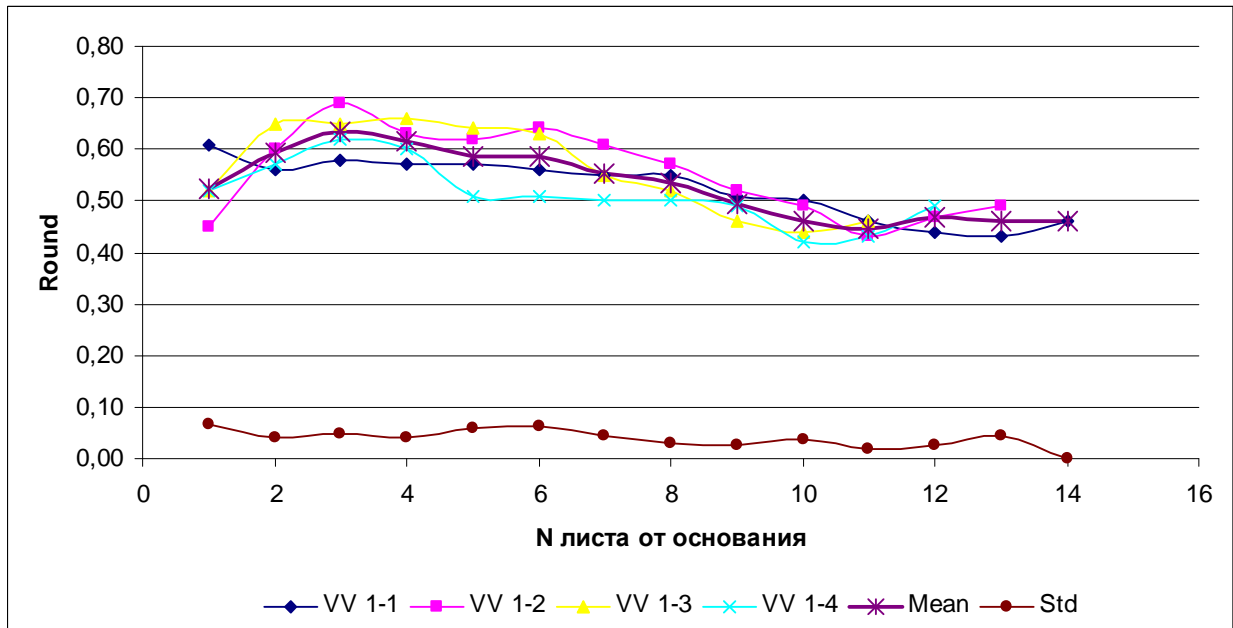


Рис. 7. Зависимость Roundness от расположения на побеге прироста текущего года.

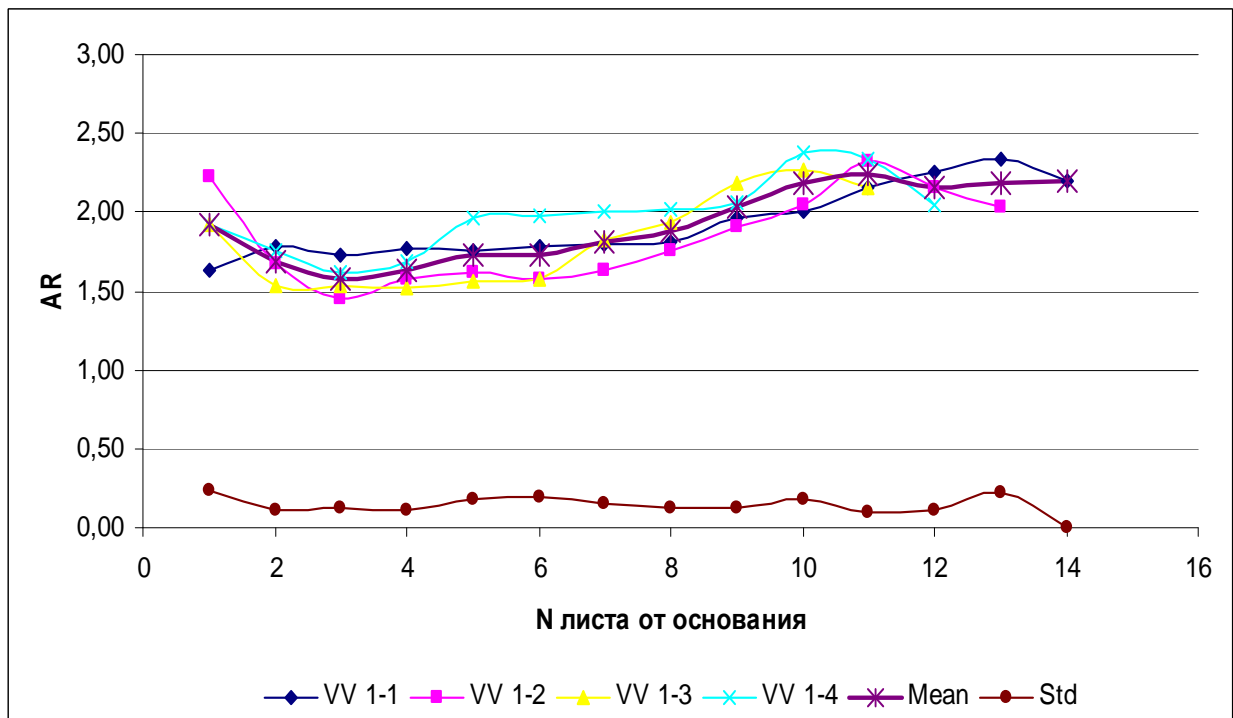


Рис. 8. Зависимость Aspect ratio (AR) от расположения на побеге прироста текущего года.

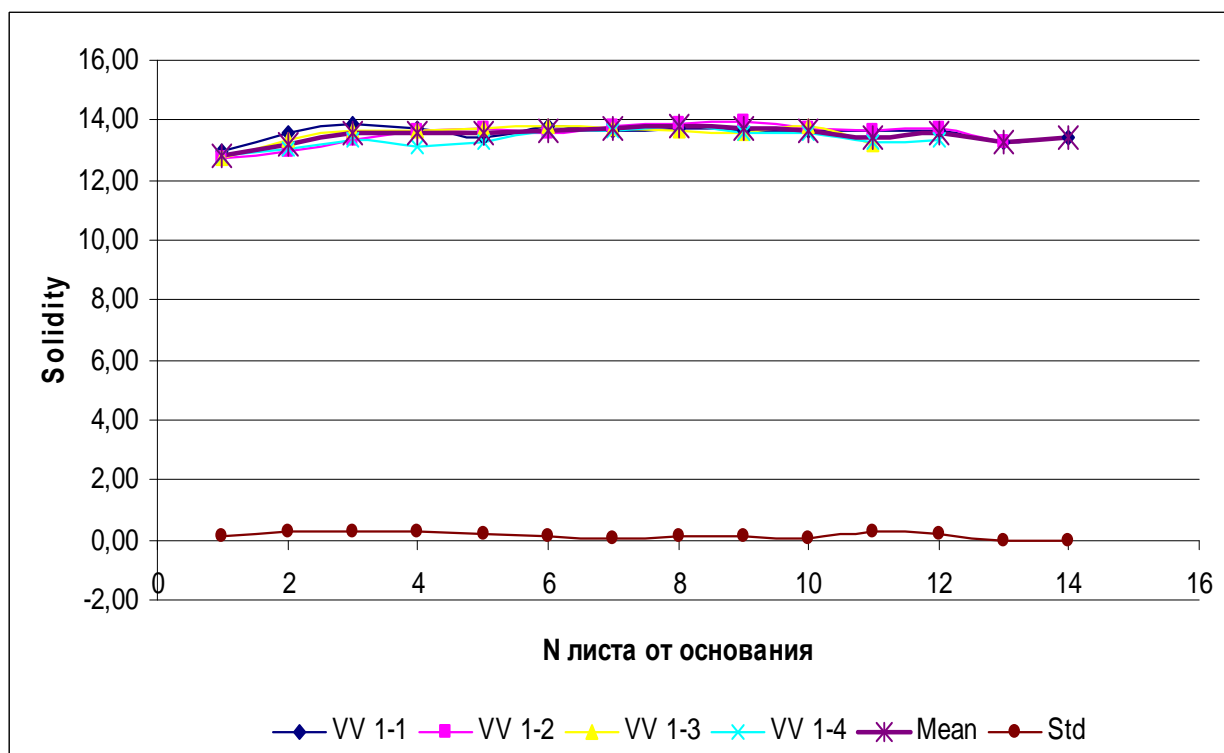


Рис. 9. Зависимость Solidity от расположения на побеге прироста текущего года.

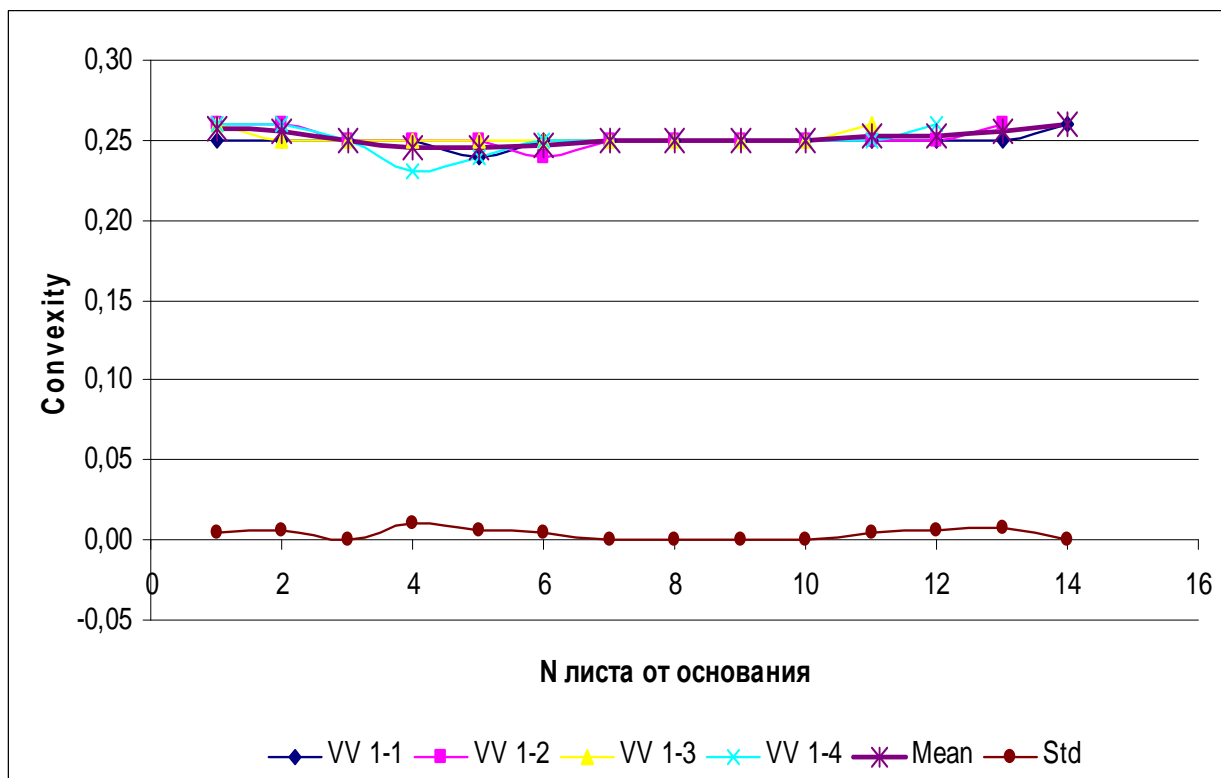


Рис. 10. Зависимость Convexity от расположения на побеге прироста текущего года.

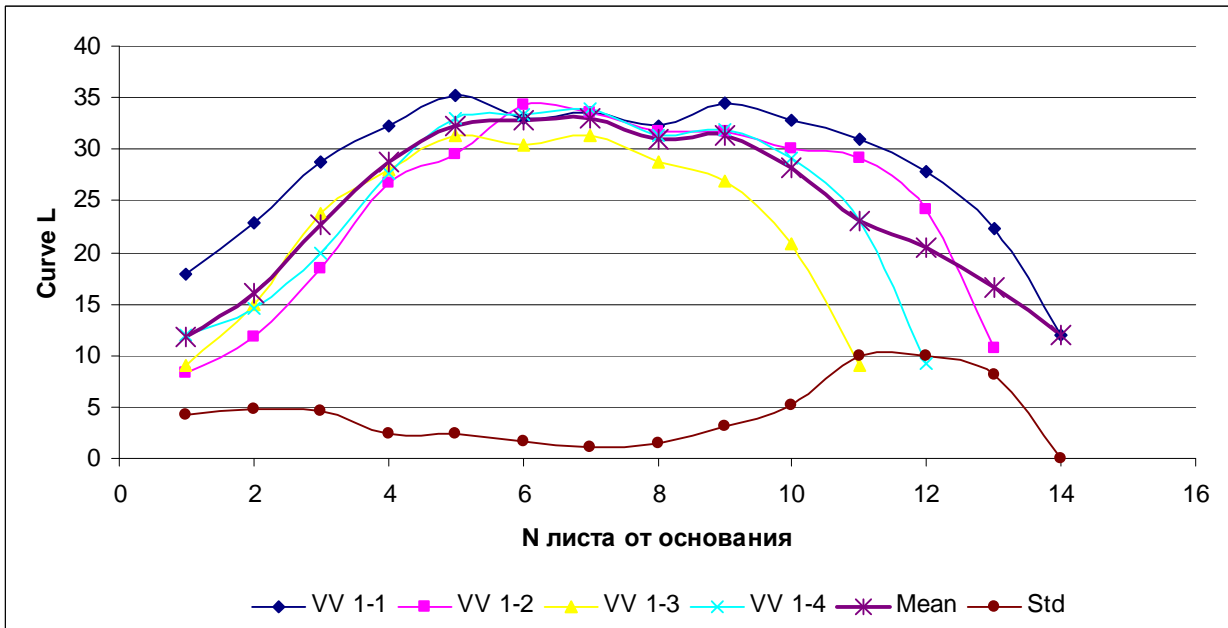


Рис. 11. Зависимость Curve L от расположения на побеге прироста текущего года.

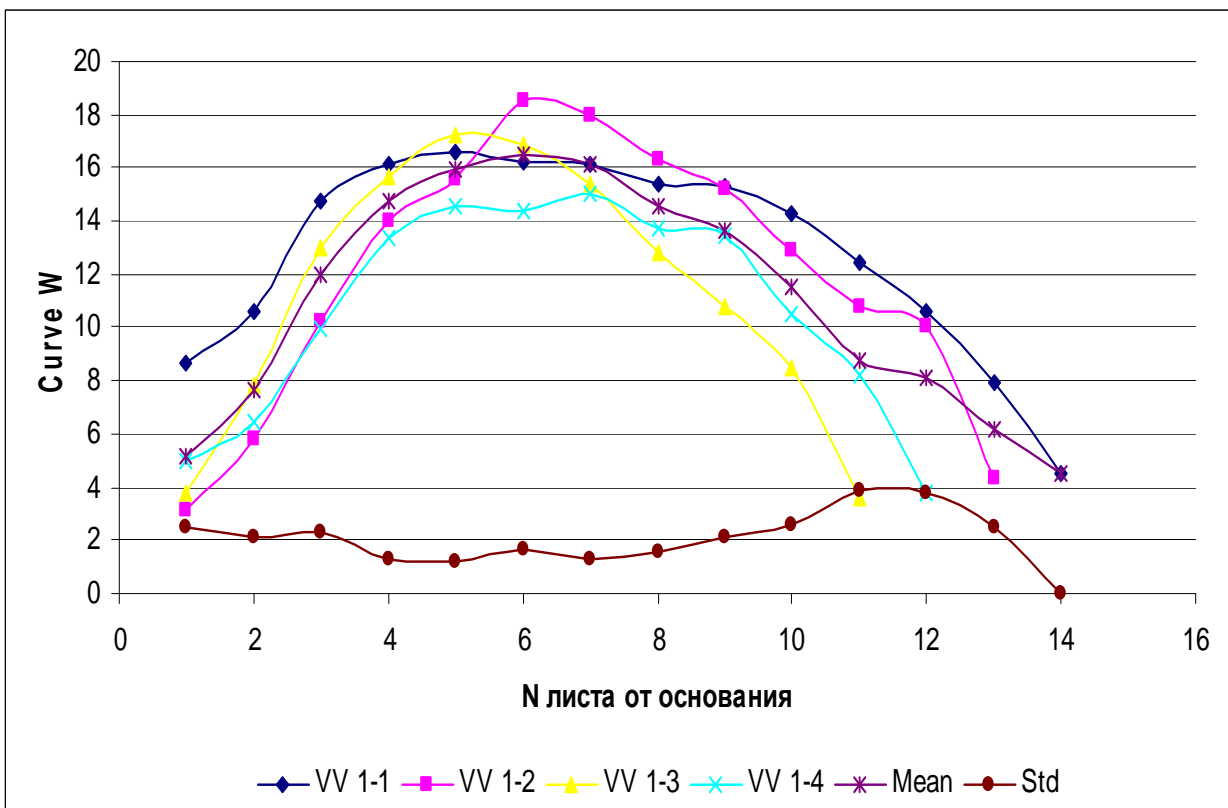


Рис. 12. Зависимость Curve W от расположения на побеге прироста текущего года.



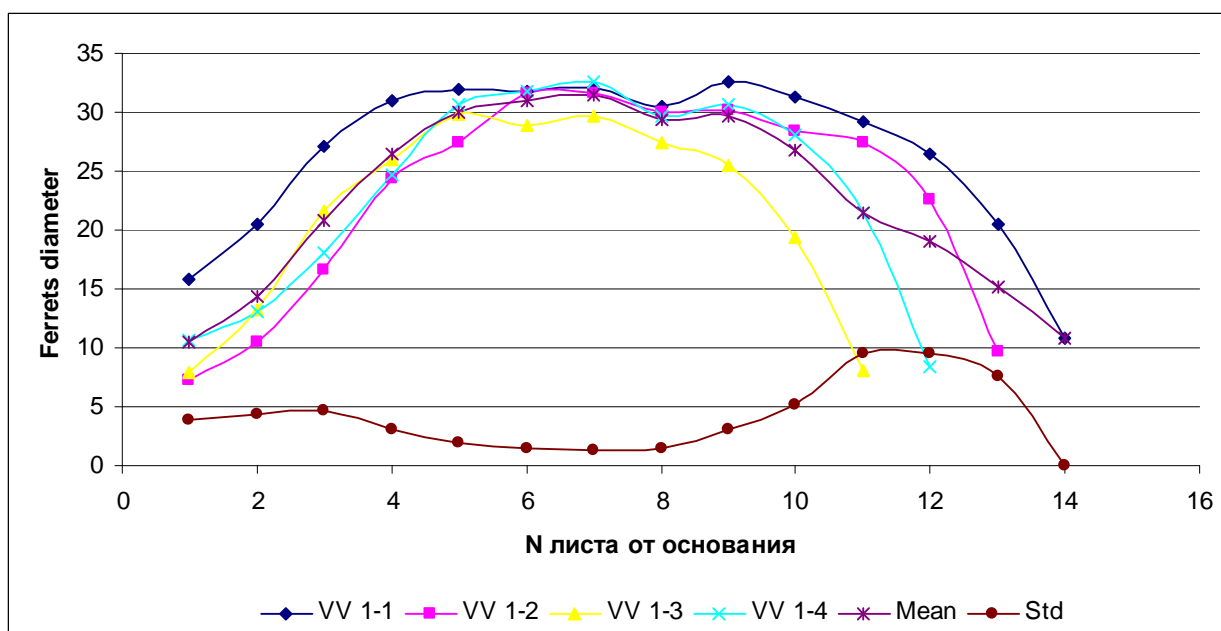


Рис. 13. Зависимость Ferrets diameter от расположения на побеге прироста текущего года.

Данные о зависимости параметров листьев брусники от расположения на побеге прироста текущего года, представленные на рис. 1-13, позволяют разделить их на четыре типа. К первому типу относятся Area, Perimeter, Major axis, Minor axis, Curve L, Curve W, Ferrets diameter, Effective diameter, для которых зависимость параметра от места расположения листа на побеге носит колоколообразный характер. Ко второму типу относится Form factor и Roundness – величина которых плавно уменьшается от основания к верхушке, к третьему – Aspect ratio (AR) - изменяется

противоположным образом относительно параметров второго типа. И, наконец, для четвертого типа – Solidity и Convexity характерно отсутствие явной связи с расположением листьев на побеге.

Таким образом, из представленной совокупности данных (рис. 1-13) следует, что наиболее крупные листья располагаются в средней части побега и при переходе от основания к верхушке они становятся более вытянутыми.

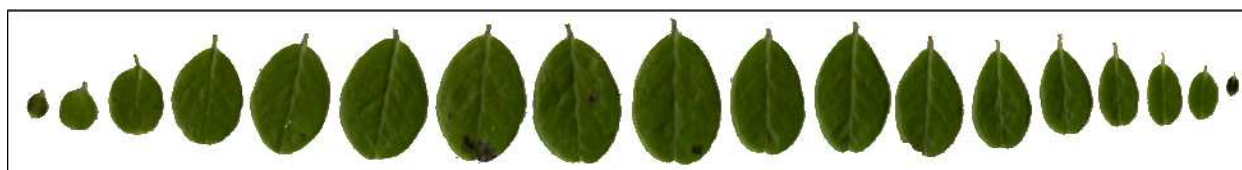


Рис. 14. Изменчивость размеров и формы листьев на побеге прироста текущего года от основания к верхушке (слева направо).

Для дальнейшего изучения изменчивости формы листьев брусники в зависимости от места их расположения на побеге был использован анализ с применением эллиптических дескрипторов Фурье, дополненный методом главных компонент, который отличаются высокой чувствительностью к изменению формы [17].

Популяция листьев побега (рис. 14) была разделена на 2 группы: 1 группа (с 1 по 9) – площадь и размеры листьев увеличиваются и 2 группа (с 9 по 18) – площадь и размеры листьев прогрессивно уменьшаются. Полученные данные для первых двух главных компонент, объясняющих до 90% всей вариабельности, представлены на рис. 15.

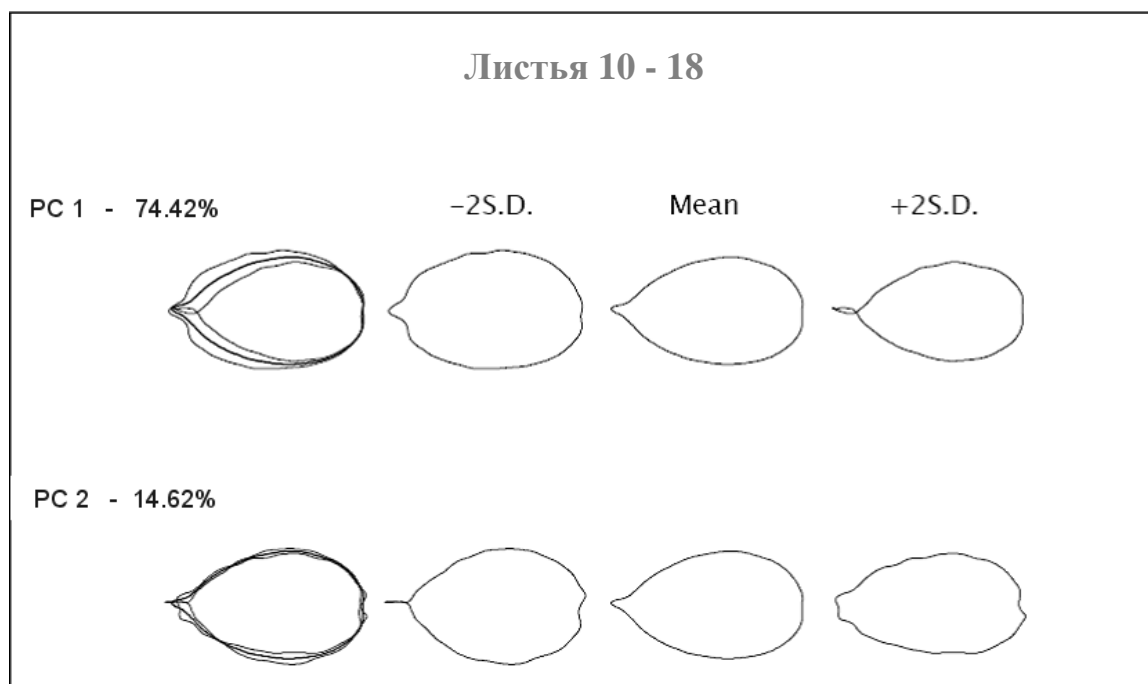
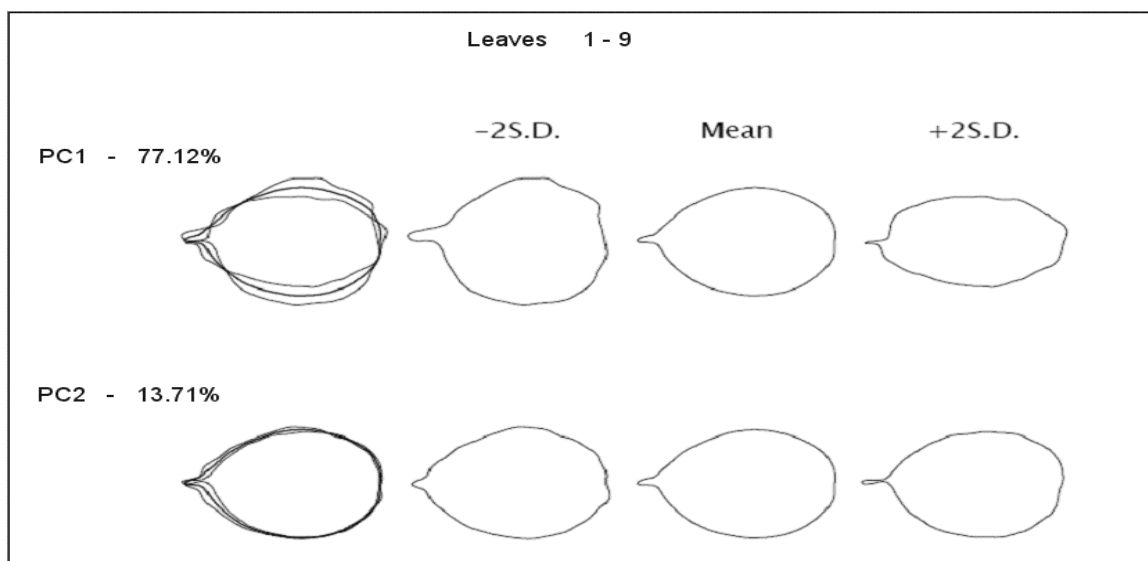


Рис. 15. Изменчивость формы листьев брусники базальной и апикальной частей побега.

*Примечание:*

Mean – среднее арифметическое, S.D. = Std – стандартное отклонение, PC 1 – первая компонента, PC 2 – вторая компонента.

Как хорошо видно на рис. 15, изменение размеров и формы листьев первой группы происходят главным образом за счет увеличения поверхности листа во всех направлениях (аллометрический рост), в то

время как для листьев второй группы в основном за счет изменения формы и размеров основания листа.

Таким образом, в нижней части побега изменение размеров и формы листьев

происходит за счет роста во всех направлениях, в то время как в верхней части – главным образом в результате изменения формы и размеров их основания.

Для определения среднестатистических параметров размеров и формы листьев для образцов, состоящих из нескольких побегов, взятых с конкретного местообитания,

наиболее пригодны листья с середины побега, так называемые «репрезентативные» [18] или «медианные» (табл. 3), значение стандартного отклонения для которых минимально (рис. 1-13).

Менее пригодны для этих целей листья с максимальными значениями параметров (табл. 2) в порядке их уменьшения.

Таблица 3

Корреляционная матрица площади листьев побегов (n = 28) брусники различных ценопопуляций (n = 7)

	Mean	Mediana	Min	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4
Mean	1						
Mediana	0,988076	1					
Min	0,358803	0,369322	1				
Max 1	0,936249	0,91269	0,116198	1			
Max 2	0,936538	0,902938	0,126491	0,980643	1		
Max 3	0,940234	0,901827	0,131566	0,970452	0,982219	1	
Max 4	0,941717	0,902975	0,154921	0,958155	0,964435	0,97781	1

*Примечание:* Mean – средняя арифметическая, Mediana – медиана, Max 1-4 – площади листьев наибольших размеров в порядке их уменьшения, Min – минимальное значение площади листа.

Таким образом, для побегов брусники характерно постепенное увеличение, начиная от основания побега, размеров (площадь, периметр, длина, ширина) каждого последующего листа. После достижения максимума имеет место прогрессирующее уменьшение размеров всех последующих листьев. Изменение показателей формы листьев проявляется их плавным снижением или повышением в акропетальном или базипетальном направлении без ясно выраженного максимума.

Следовательно, наиболее пригодным для характеристики всей совокупности листьев побега различных особей и ценопопуляции в целом по форме и размерам является «медианный» лист.

#### SUMMARY

Buzuk G.N

#### MORPHOMETRY OF MEDICINAL PLANTS. 1. VACCINIUM VITIS-IDAEA L.: THE FORM AND THE SIZES OF LEAVES

Distribution of leaves of a cowberry within the limits of runaway of a gain of current year under the form and the sizes by means of de-

scriptors of the form and elliptic descriptors Фурье is studied. It is established that the most suitable for the characteristic of all set of leaves of runaway of various individuals and zenopopulation under the form and the sizes is «mediane» a leaf of this plant.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Житков В.С. Значение динамики размеров особей *Anemone fasciculata* для идентификации местообитаний// Организация форм охраны объектов природно-заповедного фонда. – М., 1989. – С.162-167.
2. Menadue Y., Crowden R.K. Leaf polymorphism in *Ranunculus nanus* Hook (Ranunculaceae). – *New Phytol.* – 1990. – Vol. 114. – N 2. – P.265-274.
3. Bennet B.C., Bell C.R., Baulware R.T. Geographic variation in alkaloids content of *Sanquinaria Canadensis* (Papaveraceae). – *Phodora.* – 1990. – Vol. 92. – N 870. – P.57-69.
4. Neuffer B. Leaf morphology in *Capsella* (Cruciferae): dependency on environments and biological parameters// *Beitr.*

Biol. Pflanz. – 1989. – Bd. 64. – N 1. – S.39-54.

5. Jensen R.J. Detecting shape variation on oak leaf morphology: a comparison of rotational-fit methods// Amer. J. Bot. – 1990. – Vol. 77. – N 10. – P.1279-1293.

6. Bentson G.M., Weiner J. Size structure of populations within populations: leaf number and size in crowded and uncrowded *Impatiens pallida* individuals// Oecologia. – 1991. – Vol. 85. – N 3. – P.327-331.

7. Kuiper P.J.C. Analysis of phenotypic responses of plant to changes in the environment in terms of stress and adaptation// Acad. Bot. neerl. – 1990. – Vol. 39. – N 3. – P.217-227.

8. Lotz L.A.P., Olf H., Tienderen P.H. Within-population variability in morphology and life history of *Plantago major* L. ssp. *pleiosperma* Pilger in relation to environmental heterogeneity// Oecologia. – 1990. – Vol. 84. – N 3. – P.404-410.

9. Гамалей Ю.В., Шифэвдамба Ц. Сравнительная анатомия растений в качестве метода оценки изменений среды обитания// Методологические вопросы оценки состояния природной среды МНР. – Пущино, 1990. – С.56-57.

10. Пельтек Л.А., Черненко О.П. Анализ продукционного процесса брусники в естественных условиях произрастания: Многоцелевое лесопользование. – М., 1992. – С.99-104.

11. Крылова И.Л., Трембля Я.С. Влияние экологических факторов на содержание действующих веществ в листьях брусники// Хим.-фармац. журнал. – 1976. – № 6. – С. 73-76.

12. Гозин А. А. Динамика накопления дубильных веществ в вегетативных органах брусники в зависимости от почвенно-грунтовых условий// Ботаника (исследования). – Вып. 13. Минск, «Наука и техника». – 197. - С. 205—208.

13. Липская Г.А., Иванов Н.П., Чертко Н.К. Морфологические изменения растений при оптимизации плодородия дерново-подзолистой почвы путем торфования и землевания. – Ботаника. – Мн., 1984. – Вып. 26. – С.67-68.

14. Валетов В.В. Биометрические показатели листьев ольхи черной, произрастающей в различных по увлажнению местообитаниях// Ботаника. – Мн., 1984. – С.63-64.

15. Гозин А.А. Влияние экологических факторов на накопление биологически активных веществ в бруснике. – Экология// 1972. – N 1. – С.45—47.

16. Iwata, H., and Y. Ukai SHAPE: A computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. - Journal of Heredity. - 2002 – Vol. 93. – P. 384-385.

17. Гедых В.Б. Определение площади листьев черники// Ботаника. – Мн., 1976. – Вып. 18. - С.63-70.

18. Бузук Г.Н. О влиянии микроэлементов на биосинтез алкалоидов// Растительные ресурсы. - 1986. Т. 22. - N 2. - С. 272-279.

Поступила 05.06.2006 г.

\*\*\*\*\*

Таблица 1

## Корреляционная матрица морфологических параметров и дескрипторов формы листьев брусники

R	Area	Perim	Major	Minor	Feret	Curve L	Curve W	Form Factor	Round	Comp	AR	Eff.Diam	Solidity	Convexity
Area	1	0,96651	0,950528	0,958476	0,948835178	0,948056	0,957771	0,117998	0,212954	0,231861	-0,25564	0,982142	0,56748	-0,49029
Perim	<b>0,96651</b>	1	0,991615	0,927932	0,99346231	0,995632	0,930691	-0,03372	0,092709	0,11356	-0,14637	0,986452	0,564472	-0,58903
Major	<b>0,950528</b>	<b>0,991615</b>	1	0,890125	0,997729289	0,996231	0,892707	-0,0808	-0,00384	0,017804	-0,05377	0,970898	0,586902	-0,55406
Minor	<b>0,958476</b>	<b>0,927932</b>	<b>0,890125</b>	1	0,888406792	0,89345	0,998493	0,297003	0,425473	0,4435	-0,45772	0,973219	0,637013	-0,51577
Feret	<b>0,948835</b>	<b>0,993462</b>	<b>0,997729</b>	<b>0,888407</b>	1	0,998812	0,892346	-0,10209	-0,0007	0,021269	-0,05939	0,969003	0,555715	-0,56
Curve L	<b>0,948056</b>	<b>0,995632</b>	<b>0,996231</b>	<b>0,89345</b>	<b>0,998811953</b>	1	0,897056	-0,09953	0,015134	0,036724	-0,0735	0,970781	0,547879	-0,58193
Curve S	<b>0,957771</b>	<b>0,930691</b>	<b>0,892707</b>	<b>0,998493</b>	<b>0,892345558</b>	<b>0,897056</b>	1	0,284354	0,418231	0,436616	-0,4527	0,973803	0,634019	-0,51824
Form Factor	0,117998	-0,03372	-0,0808	0,297003	-0,10208867	-0,09953	0,284354	1	0,840734	0,845379	-0,82278	0,116534	0,478881	0,213288
Round	0,212954	0,092709	-0,00384	0,425473	-0,00070044	0,015134	0,418231	<b>0,840734</b>	1	0,996638	-0,96243	0,221337	0,262253	-0,06766
Comp	0,231861	0,11356	0,017804	0,4435	0,021269383	0,036724	0,436616	<b>0,845379</b>	<b>0,996638</b>	1	-0,97148	0,242178	0,283622	-0,07495
AR	-0,25564	-0,14637	-0,05377	-0,45772	-0,05938889	-0,0735	-0,4527	<b>-0,82278</b>	<b>-0,96243</b>	<b>-0,97148</b>	1	-0,26954	-0,3059	0,090611
Eff.Diam	<b>0,982142</b>	<b>0,986452</b>	<b>0,970898</b>	<b>0,973219</b>	<b>0,969003444</b>	<b>0,970781</b>	<b>0,973803</b>	0,116534	0,221337	0,242178	-0,26954	1	0,630174	-0,54845
Solidity	0,56748	0,564472	0,586902	0,637013	0,555715249	0,547879	0,634019	0,478881	0,262253	0,283622	-0,3059	0,630174	1	-0,16035
Convexity	-0,49029	-0,58903	-0,55406	-0,51577	-0,56000444	-0,58193	-0,51824	0,213288	-0,06766	-0,07495	0,090611	-0,54845	-0,16035	1
R <sup>2</sup>	Area	Perim	Major	Minor	Feret	Curve L	Curve W	Form Factor	Round	Comp	AR	Eff.Diam	Solidity	Convexity
Area	1	0,934141	0,903503	0,918676	0,900288195	0,89881	0,917325	0,013923	0,045349	0,05376	0,06535	0,964602	0,322033	0,240382
Perim	0,934141	1	0,983299	0,861058	0,986967361	0,991282	0,866187	0,001137	0,008595	0,012896	0,021425	0,973088	0,318628	0,346953
Major	0,903503	0,983299	1	0,792322	0,995463734	0,992477	0,796925	0,006529	1,47E-05	0,000317	0,002891	0,942643	0,344454	0,306985
Minor	0,918676	0,861058	0,792322	1	0,789266629	0,798253	0,996988	0,088211	0,181028	0,196692	0,209509	0,947155	0,405785	0,266015
Feret	0,900288	0,986967	0,995464	0,789267	1	0,997625	0,796281	0,010422	4,91E-07	0,000452	0,003527	0,938968	0,308819	0,313605
Curve L	0,89881	<b>0,991282</b>	<b>0,992477</b>	0,798253	<b>0,997625318</b>	1	0,804709	0,009907	0,000229	0,001349	0,005403	0,942415	0,300171	0,338637
Curve S	<b>0,917325</b>	0,866187	0,796925	<b>0,996988</b>	0,796280595	0,804709	1	0,080857	0,174917	0,190633	0,204941	0,948291	0,40198	0,268568
Form Factor	0,013923	0,001137	0,006529	0,088211	0,010422097	0,009907	0,080857	1	0,706834	0,714665	0,676964	0,01358	0,229327	0,045492
Round	0,045349	0,008595	1,47E-05	0,181028	4,90616E-07	0,000229	0,174917	0,706834	1	0,993288	0,92628	0,04899	0,068777	0,004578
Comp	0,05376	0,012896	0,000317	0,196692	0,000452387	0,001349	0,190633	0,714665	0,993288	1	0,943781	0,05865	0,080441	0,005617
AR	0,06535	0,021425	0,002891	0,209509	0,00352704	0,005403	0,204941	0,676964	0,92628	0,943781	1	0,072652	0,093572	0,00821
Eff.Diam	<b>0,964602</b>	<b>0,973088</b>	<b>0,942643</b>	<b>0,947155</b>	<b>0,938967675</b>	<b>0,942415</b>	<b>0,948291</b>	0,01358	0,04899	0,05865	0,072652	1	0,39712	0,300795
Solidity	0,322033	0,318628	0,344454	0,405785	0,308819438	0,300171	0,40198	0,229327	0,068777	0,080441	0,093572	0,39712	1	0,025713
Convexity	0,240382	0,346953	0,306985	0,266015	0,313604972	0,338637	0,268568	0,045492	0,004578	0,005617	0,00821	0,300795	0,025713	1