

УДК 575:574.2

## ПАЛИНОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И ПАЛИНОТОКСИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В УРБОЭКОСИСТЕМАХ

© 2015

**Э.Э. Ибрагимова**, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, экологии и безопасности жизнедеятельности, и.о. заведующего кафедрой биологии, экологии и безопасности жизнедеятельности

*Крымский инженерно-педагогический университет, Симферополь, Республика Крым (Россия)*

**Аннотация.** Исследовалась мужская генеративная система популяций *Salix babylonica*, произрастающих вдоль дорог с различным уровнем загрязнения. Установлено, что выбросы автотранспорта оказывают неблагоприятное воздействие на генеративные органы *Salix babylonica*, проявляющееся в повышенной продукции стерильной пыльцы и ее низком качестве, что подтверждается наличием достоверных отличий между популяциями, произрастающими в зонах с различным уровнем аэротехногенного загрязнения. У растений контрольной зоны был выявлен довольно высокий показатель стерильности мужского гаметофита – 18%, однако продукция abortивной пыльцы возрастала у популяций, произрастающих в зонах со средним и высоким уровнем загрязнения, в 2,7 раза. Расчет индекса стерильности выявил отсутствие различий в продукции стерильных мужских гамет между зонами со средним и высоким уровнями загрязнения. Полученные данные позволили сделать заключение, что растения, не изменяющие продукцию abortивной пыльцы по мере увеличения загрязнения, являются толерантными и могут рекомендоваться для озеленения урбофитоценозов. В связи с этим предложено использовать *Salix babylonica* для озеленения антропогенных фитоценозов как толерантную к техногенному стрессу культуру.

Рекомендовано использовать показатель повышенной продукции abortивных пыльцевых зерен в системе экологического мониторинга за объектами окружающей среды, испытывающими различную степень антропогенной нагрузки.

**Ключевые слова:** *Salix babylonica*; популяция; генеративные органы; пыльца; гаметофит; стерильный; фертильный; фитоценозы; аэротехногенное загрязнение; аэрополлютанты.

**Постановка проблемы.** Загрязнение окружающей среды стало одной из острых проблем современности, так как оно вызывает негативные, зачастую, необратимые изменения, приводящие к деградации экосистем и ухудшению здоровья людей [1, 2]. Данная проблема имеет место и в Крымском регионе, где в последние годы обострилась ситуация загрязнения окружающей среды техногенными химическими загрязнителями. К числу основных источников загрязнения относятся выбросы автотранспорта, на долю которых приходится 70-80% от общего числа загрязнений [3, 4]. В связи с этим актуальными становятся исследования, направленные на изучение последствий антропогенного прессинга на окружающую среду. Особую ценность имеет скрининг токсического действия различных поллютантов с использованием живых организмов в качестве тест-систем [5, 6]. Известно, что организмы, извлеченные из естественных местообитаний, демонстрируют реакции на весь спектр химических, физических, климатических факторов, характерных для данной экосистемы.

**Обзор основных исследований по данной проблематике.** Наиболее удобными объектами для экологических исследований являются растительные организмы, составляющие основной биотический компонент любой экосистемы [7, 8]. Растительные тест-системы позволяют оценивать мутагенную активность многих загрязнителей окружающей среды, а также прогнозировать генетические последствия загрязнения окружающей среды. Целесообразно, наряду с традиционными методами учета мутаций, использовать косвенные показатели мутагенного действия различных загрязнителей окружающей среды. К таким методам может быть отнесен тест на определение стерильности мужского гаметофита высших растений [9]. Установлено, что нарушения в развитии пыльцы могут происходить как на ранних стадиях, еще в мейозе, так и на более поздних – при делении генеративной клетки и образовании спермиев [10], следовательно, стерильность связана с нарушениями в спорогенезе и гаметогенезе [11], в связи с чем может служить косвенным показателем данных нарушений [12].

Использование растительных организмов в качестве тест-систем представляет значительный научный интерес, так как они постоянно находятся в зоне воздействия различных загрязнений и испытывают весь спектр техногенной нагрузки, что впоследствии проявляется в нарушении функционирования различных

физиологических систем и увеличении частоты мутирования. Одной из самых чувствительных систем в живом организме является генеративная [13, 14]. В связи с этим органы полового размножения растений могут использоваться в научных исследованиях и экспериментах в качестве биомониторов к негативному воздействию различных поллютантов по их гаметоцидному действию [15-17].

Определение цели статьи, постановка задач. Цель исследования – оценка последствий аэротехногенного загрязнения урбоэкосистем выбросами автомобильного транспорта по их палинотоксическому и палиноморфологическому действию на мужскую генеративную систему древесных растений.

Изложение основного материала исследования. Материалом для исследований служили соцветия, собранные с деревьев, произрастающих в придорожной зоне автострад г. Симферополя с различным уровнем автотранспортной нагрузки и, как следствие, загрязнения: вариант 1 – средний уровень загрязнения; вариант 2 – высокий уровень загрязнения. Контрольным вариантом служили соцветия, собранные с растений, произрастающих в зонах отсутствия автомобильного движения. Объект исследования – популяции ивы плакущей, или вавилонской (*Salix babylonica*). Собранный с указанных зон материал фиксировали и хранили до цитологического анализа согласно рекомендациям Паушевой З.П.. Фертильность пыльцевых зерен определяли йодным методом на временных давленных препаратах [18]. Исследование морфометрической структуры пыльцевых зерен проводили при помощи системы морфометрического анализа изображений, включающей микроскоп “Carl Zeiss”, видеокамеру “Sun Kwang” и персональный компьютер. Полученные данные для сравнения приводили к интенсивным показателям [19]. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ “Microsoft Excel”. В качестве критерия оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t-критерий Стьюдента [20].

Для скрининга палинотоксического влияния аэрополлютантов использовали тест на стерильность мужского гаметофита. Палинотоксические эффекты аэротехногенного загрязнения выявляли путем анализа частоты встречаемости разных типов аномалий пыльцы. Были рассмотрены следующие параметры: количество фертильных и стерильных пыльцевых зерен, проценты

Таблица 2

Палиноморфологическая структура стерильных пыльцевых зерен, продуцируемых генеративными органами популяций *Salix babylonica*, произрастающих в экологически чистой зоне (контроль) и вдоль дорог с различным уровнем загрязнения

№	Зона исследования	Морфологическая структура стерильной пыльцы					
		мелкая	$\bar{x} \pm S_z$	крупная	$\bar{x} \pm S_z$	узкая	$\bar{x} \pm S_z$
1.	Контроль	200	0,57±0,07	280	0,80±0,08	39	0,11±0,02
2.	Средний уровень загрязнения	448	1,54±0,14*	494	1,70±0,12*	173	0,60±0,05*
3.	Высокий уровень загрязнения	628	1,93±0,20*	516	1,59±0,17*	332	1,02±0,12*

Примечание. Отличия от контроля достоверны при \* –  $p < 0,001$

клеток с нарушениями, рассчитанные из общего количества продуцируемых генеративными органами гамет; индекс стерильности (ИС), представляющий собой величину, показывающую во сколько раз частота индуцированного уровня стерильности, вызванная действием поллютантов, выше уровня спонтанной стерильности (контроль) [21].

Палинотоксический эффект аэротехногенного загрязнения среды – ПЭ (%) по показателям стерильности пыльцы тест-растения рассчитывали по формуле [22].

Результаты исследования показали, что между популяциями *Salix babylonica*, произрастающими в зонах с различным уровнем аэротехногенного загрязнения, установлены достоверные отличия в продукции стерильной пыльцы (табл. 1). Следует отметить, что у растений контрольной зоны был выявлен довольно высокий показатель стерильности мужского гаметофита – 18%, однако продукция abortивной пыльцы увеличивалась у растений, произрастающих вдоль автострад с различной интенсивностью движения автотранспорта.

Таблица 1

Показатели стерильности пыльцы популяций *Salix babylonica*, произрастающих в экологически чистой зоне (контроль) и вдоль дорог с различным уровнем загрязнения

№	Зона исследования	n	Фертильность пыльцы			Стерильность пыльцы		
			кол-во	$\bar{x} \pm S_z$	%	кол-во	$\bar{x} \pm S_z$	%
1.	Контроль	348	6626	19,04±0,26	82,0	1456	4,18±0,15	18,0
2.	Средний уровень загрязнения	290	3793	13,07±0,25*	50,7	3681	12,69±0,23*	49,3
3.	Высокий уровень загрязнения	325	4743	14,59±0,26*	52,6	4264	13,12±0,26*	47,4

Примечание. Отличия от контроля достоверны при \* –  $p < 0,001$

Изучение реакции мужской генеративной системы *Salix babylonica* на повышение уровня загрязнения позволило прийти к заключению, что продукция стерильных пыльцевых зерен была практически одинаковой в зонах со средним и высоким уровнем загрязнения и увеличивалась в 2,7 ( $p < 0,001$ ) раза (вариант 1) и 2,6 ( $p < 0,001$ ) раза (вариант 2) соответственно. Данный факт позволил прийти к заключению, что мужская генеративная система *Salix babylonica* палинотолерантна к высокому уровню загрязнения, что проявляется в неизменном показателе продукции abortивной пыльцы по мере увеличения аэротехногенного загрязнения.

Проведенный морфологический анализ стерильной пыльцы, продуцируемой генеративными органами популяций *Salix babylonica*, произрастающих вдоль автострад с различной интенсивностью движения, позволил выявить ряд нарушений фенотипа пыльцевых зерен, среди которых были обнаружены следующие: мелкая (дегенерировавшая) пыльца, крупная (гипертрофированная) и узкая (палочковидная). Количество фенотипических нарушений мужского гаметофита достоверно возрастало по сравнению с контрольной зоной. Палиноморфологическая оценка стерильных пыльцевых зерен представлена в таблице 2.

Результаты проведенной палиноморфологической оценки abortивной пыльцы свидетельствует, что основными видами нарушений при гаметогенезе была мелкая, дегенерировавшая и крупная пыльца. Формирование гипертрофированных пыльцевых зерен является следствием нерасхождения тетрады микроспор при микроспорогенезе. В свою очередь, образование мелкой пыльцы происходит на ранних стадиях микроспорогенеза, когда происходит формирование микроспор и гамет, несущие различные повреждения, элиминируются на ранних стадиях своего развития. Нарушение формы пыльцы также может свидетельствовать о генетических изменениях, имеющих место при микроспорогенезе. Изменения в генах, отвечающих за форму пыльцы, приводят к появлению различных аномалий, в частности, узких, или палочковидных, пыльцевых зерен. Данное явление, по-видимому, связано с генотоксическим действием аэрополлютантов на мужскую генеративную сферу и протекающие в ней процессы микроспорогенеза. Все физиологические процессы в организме сопряжены и генетически детерминированы. Следствием нарушения генотипа является фенотипическое проявление в виде недоразвитой пыльцы с различными отклонениями от нормы. Таким образом, можно по степени поврежденности пыльцевых зерен, формируемых органами репродукции растительных организмов, находящихся в условиях техногенного стресса, прийти к заключению о мутагенном действии факторов окружающей среды. Следовательно, по мере увеличения автотранспортной нагрузки увеличивалась продукция пыльцы с различными нарушениями, что может быть результатом модифицирующего действия поллютантов на мужской гаметофит исследованных культур.

На рис. 1 представлены микрофотографии (увел. 1.1х16) продуктов мужской генеративной (увел. изученных древесных растений). Фертильные и стерильные пыльцевые зерна отличаются по содержанию крахмала; фертильная пыльца полностью заполнена крахмалом, а стерильная – не имеет его совсем или содержит следы [18]. Соответственно, фертильные пыльцевые зерна имеют темную окраску, стерильные – не окрашенные, либо имеют слабую пигментацию.

Основными нарушениями при микроспорогенезе были: крупная стерильная пыльца без крахмала или со следами его (а), мелкая узкая, продолговатая пыльца (б).

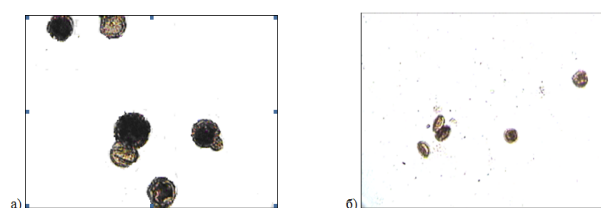


Рисунок 1 – Мужской гаметофит *Salix babylonica* (увел. 1.6х16)

Анализируя полученные данные, можно сделать заключение о том, что образование пыльцы с различными видами повреждений зависит от степени загрязнения окружающей среды.

Результаты проведенного вычисления показателя палинотоксического эффекта (ПЭ, %) по всем вариантам исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели индекса стерильности и палинотоксичности (ПЭ, %) выбросов автотранспорта на генеративную систему *Salix babylonica*, произрастающих вдоль дорог с различным уровнем загрязнения

№	Зона исследования	ИС	ПЭ, %	ЕС <sub>10-90</sub>
1.	Средний уровень загрязнения	2,74	38,05	ЕС <sub>30</sub>
2.	Высокий уровень загрязнения	2,63	35,85	ЕС <sub>30</sub>

В нашем исследовании установлено, что у популяций растений, произрастающих в придорожной зоне автострад со средней и высокой нагрузкой, регистрировалось достоверное увеличение продукции стерильной пыльцы. Расчет индекса стерильности (ИС) выявил отсутствие различий в продукции стерильных мужских гамет между 1 и 2 вариантами исследования. Полученные данные позволили сделать заключение, что растения, не изменяющие продукцию abortивной пыльцы по мере увеличения загрязнения, являются толерантными и могут рекомендоваться для озеленения урбофитоценозов.

Нами было проведено ранжирование полученных данных по классификации ЕС10-90: инициальное (слаботоксичное), эффективное (среднетоксичное) и сублетальное (высокотоксичное) содержание токсических концентраций загрязнителей в изученных районах – соответственно ЕС10, ЕС50 и ЕС90, при которых наблюдалось ингибирование продукции фертильной пыльцы генеративными органами исследованных растений на 10, 50 и 90% по сравнению с контролем. Установлено, что в исследованных зонах имело место эффективное или среднетоксичное действие поллютантов на органы мужской репродукции. Полученные данные позволяют прийти к заключению, что в районах с интенсивным движением автотранспорта, загрязняющие вещества оказывают среднетоксичное действие на гаметогенез.

Выводы и перспективы дальнейших изысканий. Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что в зонах интенсивного движения автотранспорта отмечается повышенный уровень продукции стерильной пыльцы генеративными органами *Salix babylonica*.

Качество и степень повреждения формируемой растениями техногенной зоны пыльцы может служить биотестом мутагенного действия факторов окружающей среды, оказывающих модифицирующее действие на мужской гаметофит.

Предложено использовать *Salix babylonica* антропогенных фитоценозах как толерантную к техногенному стрессу культуру.

Показатель повышенной продукции abortивных пылевых зерен может быть использован в системе экологического мониторинга за объектами окружающей среды, испытывающими различную степень антропогенной нагрузки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1998. 287 с.
2. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек. М.: Агентство «ФАИР», 1988. 211 с.
3. Шибанов С.Э. Основные экологические проблемы Крыма // Матер. II Міжн. наук.-практ. конф. "Сучасні наукові дослідження – 2006". Т. 18. Екологія. Д.: Наука і освіта, 2006. С. 24-26.

4. Экология Крыма. Справочное пособие / Под ред. Н.В. Багрова и В.А. Бокова. С.: Крымское учебно-педагогическое государственное издательство, 2003. 360 с.

5. Израэль Ю.А., Филиппова Л.М., Инсаров Г.Э., Семевский Ф.Н., Семенов С.М. Влияние фонового загрязнения природной среды на биоту: проблемы оценки и прогноза // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1982. Т. 5. С. 6-18.

6. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. М.: МГУ, 1985. 158 с.

7. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов-н/Д.: Феникс, 2001. 576 с.

8. Кузнецова Н.А. Использование растений в качестве биомониторов // Сборник научных работ студентов и аспирантов ВГПУ. 1997. № 5. С. 224-234.

9. Ибрагимова Э.Э. Палиноморфологическая оценка техногенного химического загрязнения среды на примере пыльцы *Artemisia vulgaris* // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана. 2007. Вып. 17. С. 211-217.

10. Фадеева Т.С., Соснихина С.П., Иркаева Н.М. Сравнительная генетика растений. Л.: ЛГУ, 1980. 248 с.

11. Банникова В.П., Хведынич О.А. Основы эмбриологии растений. К.: Наук. думка, 1981. 164 с.

12. Магулаев А.Ю., Губарева В.Т. Особенности микроспорогенеза у пырея ползучего в условиях промышленного загрязнения // Вестник Ставропольского государственного университета. 1997. № 12. С. 159-163, 173.

13. Дубинин Н.П., Пашин Ю.В. Мутагенез и окружающая среда. М.: Наука, 1978. 130 с.

14. Третьякова И.Н., Петрова Е.А., Тедер И.О., Тедер Н.О. Качество пыльцы сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения г. Красноярск: Докл. [2 Всерос. конф. «Проблемы региональной экологии», посвящ. 100-летию со дня рожд. СО РАН акад. М.А. Лаврентьева, Томск, 15-19 мая, 2000] // Проблемы региональной экологии. 2000. № 8. С. 72.

15. Ибрагимова Э.Э. Индикация загрязнения среды автотранспортными выбросами по их гаметоидному действию на растения // II Міжн. наук.-практ. конф. "Сучасні наукові дослідження – 2006", Дніпропетровськ. 2006. С. 45-48.

16. Махнева С.Г. Репродуктивная структура насаждений сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения среды // Соц.-экон. и экол. пробл. лес. комплекса: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург. 1999. С. 63.

17. Третьякова И.Н. Половая репродукция и семеношение хвойных в условиях экологического стресса // Флора и растит. Сибири и Дал. Востока.: Чтения памяти Л.М. Черепнина: Тез. докл. 2 Рос. конф. Красноярск. 1996. Ч. 2. С. 356-357.

18. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Колос, 1980. 304 с.

19. Мерков А.М., Поляков Л.Е. Санитарная статистика. М.: Медицина, 1974. 384 с.

20. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с.

21. Ибрагимова Э.Э. Влияние аэротехногенного загрязнения среды на репродуктивные органы плодовых растений // Ученые записки ТНУ им. В.И. Вернадского. Серия: Биология, химия. Т. 19 (58). 2006. № 1. С. 43-49.

22. Пат. 32513 України на корисну модель, МПК (2006) G01N 33/00 G01N 1/00 Спосіб визначення палинотоксичності техногенних хімічних забруднювачів навколишнього середовища. Балчієва Д.В., Ібрагімова Е.Е., Емірова Д.В. Заявка № u200711625; заявл. 22.10.2007; опубл. 26.05.2008, бюл. № 10.



PALINOMORPHOLOGICAL AND PALINOTOXICAL ASSESSMENT OF AEROTECHNOGENIC  
POLLUTION IN URBOEKOSYSTEMS

© 2015

**E.E. Ibragimova**, Candidate Of Biological Sciences, Associate Professor of the Biology, Ecology and Safety  
Department

*Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Republic of Crimea (Russia)*

**Abstract.** The men's generative system of populations of *Salix babylonica* growing along roads with various level of pollution was investigated. It is established that emissions of motor transport make the adverse effect on generative bodies of *Salix babylonica* that is shown in the raised production of sterile pollen and its poor quality that is confirmed by existence of reliable differences between the populations growing in zones with various level of aero technogenic pollution. At plants of an inspection zone quite high rate of sterility - 18% of a man's gametophyte was revealed, however production of abortive pollen had been increasing at the populations growing in zones with the average and high level of pollution by 2,7 times. Calculation of an index of sterility lack of distinctions in production of sterile man's gametes between zones with average and high pollution levels have been revealed. The obtained data allowed making the conclusion that the plants that aren't changing production of abortive pollen in process of increase in pollution are tolerant and can be recommended for gardening of urbophytocenosis. Therefore *Salix babylonica* is offered to use for gardening of anthropogenous phytocenosis as culture, tolerant to a technogenic stress.

Indicator of the raised production of abortive pollen grains in system of environmental monitoring behind the objects of environment has been recommended to use testing various degree of anthropogenous loading.

**Keywords:** *Salix babylonica*; population; generative organs; pollen; gametophyte; sterility; fertility; phytocenosis; aero-technogenic pollution; aeropollutants.

УДК 581.9

ХАРАКТЕРИСТИКА ФЛОРЫ САМАРСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ ПО СЕМЕЙСТВЕННОМУ  
СПЕКТРУ

© 2015

**А.В. Иванова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник  
**Н.В. Костина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
*Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти (Россия)*

**Аннотация.** Известно, что флора реагирует изменением своего состава на комплекс климатических факторов. Изменяется состав головной части семейственного спектра, по которой определяется тип флоры (первая триада семейств). Самарская область расположена в Fab- зоне, которая на территории Волжского бассейна охватывает Саратовскую, Самарскую, Ульяновскую области и Республику Татарстан. В северо-западной части Волжского бассейна она постепенно переходит в Ros-зону. Изменение состава флоры имеет дискретно-континуальный характер. Флора в различных частях Fab- зоны имеет свои особенности, что отражается на таксономических параметрах. Большая часть территории Самарской области расположена в Заволжье, по которому проходит граница природных зон: лесостепной и степной. Природные условия этих территорий имеют свои различия, а, следовательно, отличаются по параметрам флоры.

В статье выявлены различия в таксономической структуре флоры степной и лесостепной части Самарской области. Эти отличия проявляются в разной доле участия семейств Fabaceae и Rosaceae. В степной части Самарского Заволжья ослабляется роль семейства Rosaceae и усиливается Chenopodiaceae. Таксономический анализ показывает, что состав первой триады ведущих семейств спектра зависит от количества видов в описании. Чем больше видов, тем больше вероятность того, что установилась триада ведущих семейств, соответствующая данной зоне. Если число видов в описании около 500, то ведущая триада семейств в спектре стабилизируется.

**Ключевые слова:** Флора; семейственный спектр; Самарская область.

Флора как совокупность видов растений какой-либо территории фактически отражает ее экологические условия. Для оценки состояния флоры используется ряд параметров: таксономические, биоморфологические, фитоценотические и др. Таксономический обзор является важнейшей частью общего анализа флоры и подразумевает рассмотрение в первую очередь, семейственного спектра. Состав, а также порядок расположения семейств в спектре отражают как региональные, так и локальные природные особенности флоры.

Обзор по флоре Самарской области [1] и анализ семейственного спектра указывает на принадлежность рассматриваемой территории к Fab-зоне, так как третье место занимают бобовые. О наличии бобовых в лидирующей тройке семейств для флоры Самарского Поволжья упоминал еще К. Клаус [2], а затем и А.П. Хохряков, который отмечал, что границы зоны бобовых четко не определены [3]. Однако, по имеющимся данным региональных флор [4,5,6,7,8,9 и др.] с помощью семейственных спектров, можно ориентировочно обозначить границы зоны бобовых на территории Волжского бассейна. Fab-зона охватывает Саратовскую, Самарскую, Ульяновскую области и Республику Татарстан (рис.1).

В северо-западной части Волжского бассейна зона бобовых переходит в зону розоцветных (Ros-зона). Постепенный переход можно проследить по изменениям

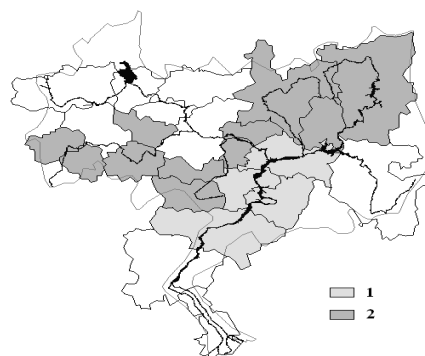


Рисунок 1 - Предполагаемые границы Fab- Ros-зон на территории Волжского бассейна  
1-Fab-зона; 2-Ros-зона.

соответствующих регионов (табл. 1). Семейство Fabaceae опускается в спектре на четвертое место (Пензенская область), а затем на пятое (Республика Чувашия, Кировская область, Рязанская, Владимирская, Пермский край). При этом семейство Rosaceae наоборот, поднимается на третье место. В спектре Калужской области бобовые опускаются еще ниже, на 6 место. Очевидно, дальнейшее географическое удаление от