

УДК 504.54.05

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОЙ МОЗАИЧНОСТИ И ПРИЗНАКОВ АДАПТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ. II. *JUNIPERUS SABINA* L.

© 2016 А.В. Щербаков<sup>1</sup>, М.В. Мавлетова<sup>2</sup>,  
И.Ю. Усманов<sup>2</sup>, Г.Я. Биктимерова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Башкирский государственный университет, г. Уфа (Россия)

<sup>2</sup> Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск (Россия)

<sup>3</sup> Институт региональных исследований Республики Башкортостан, г. Сибай (Россия)

Поступила 18.06.2016

Мозаичность почвенных параметров является одной из особенностей Южного Зауралья. Взаимное влияние на накопление и распределение в почвах химических элементов имеет очень сложную природу. Ранее было выявлено, что стохастическое природное смешивание тяжелых металлов имеет многоуровневый характер. На фоне этого у растений формируется очень сложная картина морфологических и физиологических показателей, для которой картина корреляционных связей между отдельными параметрами чрезвычайно нестабильна.

*Ключевые слова:* почвенные условия, флавоноиды, можжевельник казацкий, многомерная экологическая ниша, морфофизиологические параметры корреляционные связи.

**Scherbakov A.V., Mavletova M.V., Usmanov I.Yu., Biktimerova G.J. Correlation of parameters of soil mosaic and signs of adaptability of plants of the Southern Trans-Urals. II *Juniperus sabina* L.** – The mosaic of soil parameters is one of the features of the Southern Trans-Urals. Mutual influence on the accumulation and distribution of chemical elements in the soil has a very complex nature. Previously, it was found that the mixing of the natural stochastic heavy metals has multilevel character. Against this background, the plants formed a very complex pattern of morphological and physiological characteristics, for which the pattern of correlations between the individual parameters are extremely unstable.

*Key words:* soil conditions, flavonoids, *Juniperus sabina*, multidimensional ecological niche, morphological and physiological parameters correlations.

Целью данного сообщения является демонстрация мозаичности показателей содержания флавоноидов у растений можжевельника казацкого (*Juniperus sabina*) в ответ на мозаичность почвенных условий.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами служили образцы почвы и хвои растений, собранные на территории Башкирского Зауралья (Баймакский район) в 2007-2008 гг. Всего было исследовано 4 ценопопуляции.

Популяция 1 – окрестности с. Верхнее Мамбетово. Местоположение – склон горы восточной экспозиции. Координаты: 51° 51' сев. широты, 58° 25' вост. долготы, абсолютная высота 715 м над ур. моря.

Популяция 2 – расположена в 5 км к северу от Баймака. Местоположение – склон холма, западная экспозиция, Количество полевых сезонов – 1 (2010 г.). Координаты: 52° 39' сев. широты, 58° 20' вост. долготы, абсолютная высота 582 м над ур. моря.

Популяция 3 – г. Кынгыртау, Местоположение – 2,5 км до с. Баишево, восточная экспозиция. Координаты: 52° 30' сев. широты, 58° 32' вост. долготы, абсолютная высота 510 м над ур. моря.

Популяция 4 – 1 км от д. Мукасово. Местоположение – подножие юго-западного склона, вблизи от сезонно-заболачиваемого участка. Координаты: 52° 46' сев. широты, 58° 34' вост. долготы, абсолютная высота 450 м над ур. моря.

У исследованных растений определялись размер малого и большого радиуса, а также высота куртины.

Содержание меди в собранных образцах определялось при помощи метода обратной полярографии на приборе «Полярограф Экотест-2». Стандартный образец ГСО меди разводился до концентрации 20 мг/л.

Уровень засоления определялся кондуктометрически, путем предварительной подготовки стандартной почвенной вытяжки (50 г почвы на 250 мл дистиллированной воды). Эта же вытяжка служила и для определения рН. Калибровочный график строился по хлориду калия.

Определение флавоноидов в образцах можжевельника казацкого проводилось методом ВЭЖХ. Хроматографирование спиртовых экстрактов образцов для определения флавоноидов производилось в обратно-фазовом режиме на колонке Luna C18 250×4.6 мм, 5 мкм. Стандарты соответствующих флавоноидов и сами вещества в образцах детектировались при длине волны 360 нм.

Статистическая обработка проводилась в пакете программ Statistica

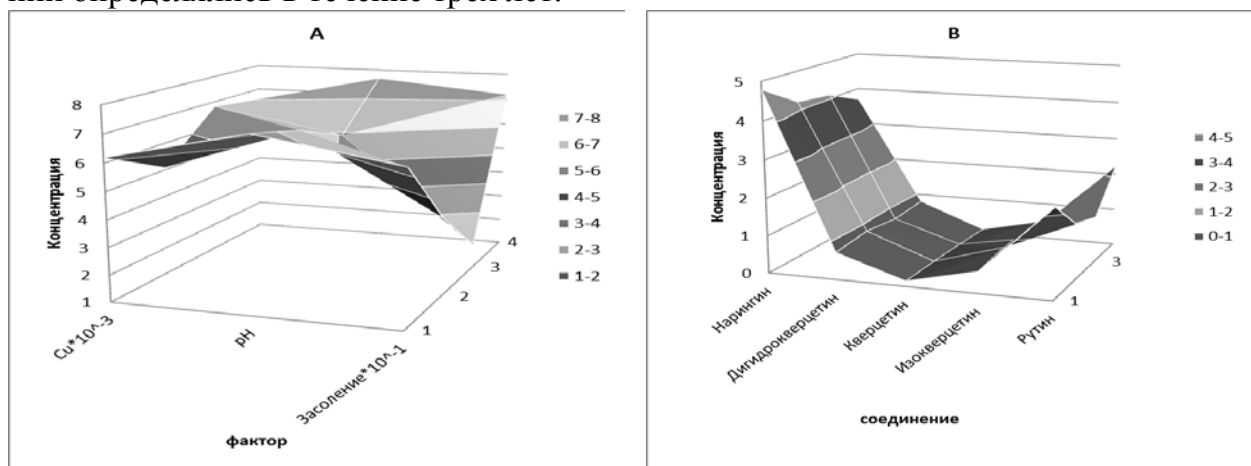
## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В ходе проведенных исследований было установлено, что анализ усредненных значений показателей содержания элементов в почвах и показателей содержания флавоноидов в растениях неизбежно приводит к потере общей информативности. Это связано с тем, что при подсчете средних значений не учитываются индивидуальные сочетания почвенных факторов, воздействующие на отдельные растения. На рис. 1 приведены среднестатистические значения показателей почвенных условий и данных по содержанию отдельных флавоноидов. На рисунке 2 представлены данные по локальным показателям почв, а также индивидуальные показатели содержания флавоноидов.

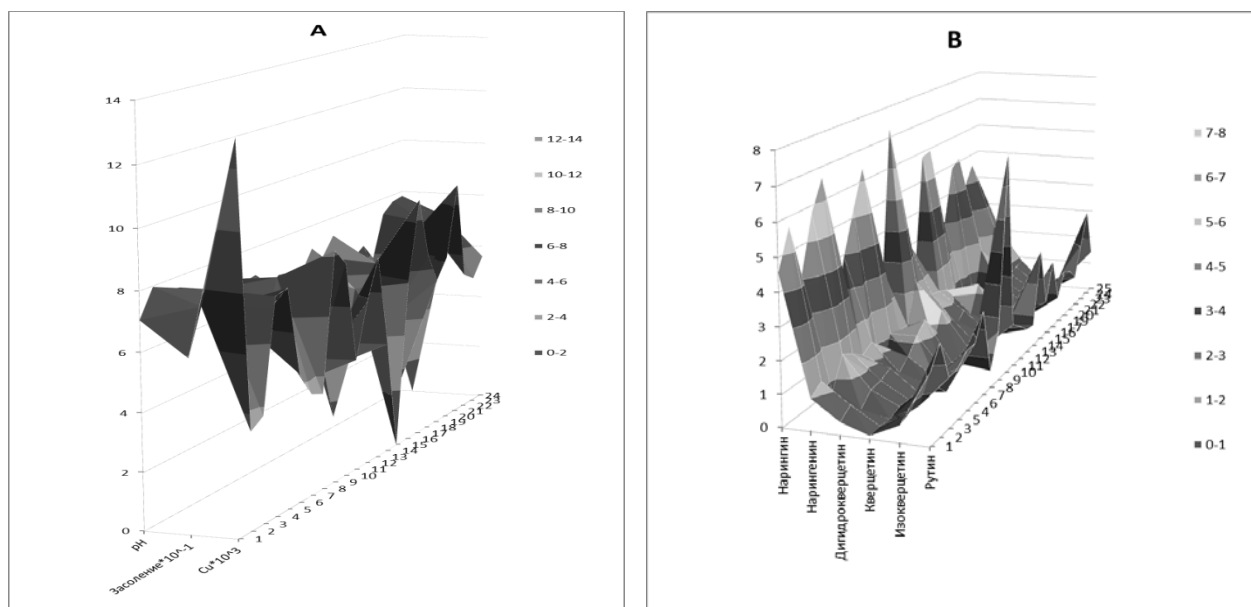
Как видно из рис. 1 и 2, процедура вычисления средних значений существенно сглаживает различия между отдельными почвенными и растительными пробами. Как отмечено выше, растения прорастают и живут именно в тех условиях, в которых они укоренились. Как следует из рис. 1 и 2, отдельные местообитания существенно между собой различаются сразу по нескольким параметрам. Это дало нам основание перейти к прямым анализам почв в местах произрастания данного растения и соответствующих параметров этого растения.

Между показателями пар «почва – растение» для всех исследованных ценопопуляций были проведены три серии расчетов корреляций: 1) между параметрами почв в разных точках с целью выявления сопряженности перераспределения почвенных соединений в разных местообитаниях; 2) между параметрами растений в разных местообитаниях; 3) между параметрами почвенной пробы и соответствующими

щего растения. Причем в нескольких случаях (популяция 2 и 3) параметры растений определялись в течение трех лет.



**Рис. 1. Среднестатистические показатели почвенных условий (А) и содержания в растениях отдельных флавоноидов (В)**



**Рис. 2. Локальные (точечные) показатели почвенных условий (А) и содержания в индивидуальных растениях отдельных флавоноидов (В)**

Несмотря на небольшое число параметров почв, собранных в этом эксперименте, было установлено, что на локальном уровне наблюдаются значительные различия, представленные в табл. 1.

В результате исследования образцов растений методом ВЭЖХ на хроматограммах всего было выявлено более 100 пиков, которые включают идентифицированные флавоноиды (кверцетин, изокверцетин, рутин и т.д.), а также не идентифицированные, но предположительно родственные им соединения. (Сычев, 2006; Тюкавкина, 2008).

Индивидуальные показатели содержания флавоноидов представлены в табл. 2.

Таблица 1

**Локальные различия в почвенных условиях  
в исследованных местах произрастания можжевельника казацкого**

Образец	pH	Засоление, мг/г почвы*10 <sup>-1</sup>	Cu, мг/г почвы*10 <sup>-3</sup>
1	7,06	5,92	13
2	7,97	7,42	3,4
3	7,71	7,8	3,7
4	7,61	7,11	7,5
5	7,02	5,74	7,6
6	7,31	5,81	4,5
7	7,07	6	3,6
8	7,22	7,37	3,4
9	6,93	6,55	8,2
10	7,02	5,74	7,6
11	6,39	3,25	4
12	6,69	3,63	5,9
13	6,62	1,4	7,3
14	6,39	3,25	4
15	7,16	5,77	0
16	6,69	3,63	5,9
17	7,33	6,38	8,8
18	6,89	3,97	6,6
19	6,17	0,78	5,5
20	6,48	2,18	6,2
21	5,85	0,7	8,8
22	7,4	7,17	5,2
23	7,75	7,37	4,9
24	7,82	7,16	5,6

Таблица 2 9( начало)

**Содержание флавоноидов в индивидуальных образцах  
можжевельника казацкого**

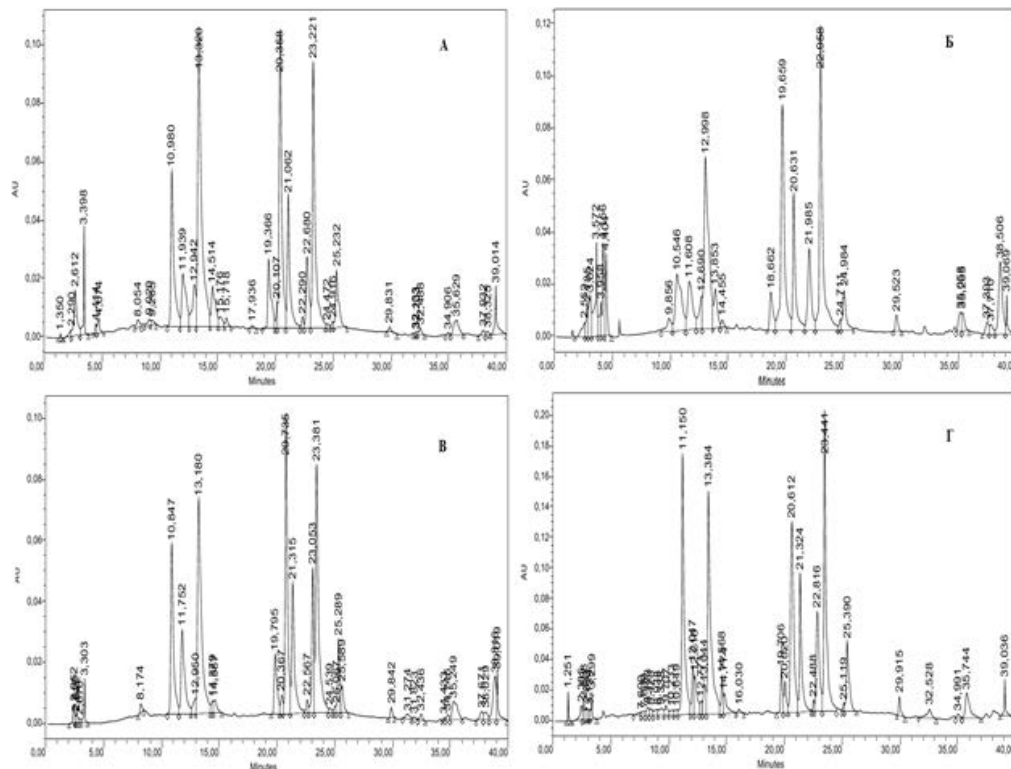
Образец	Содержание флавоноидов, мг/г					
	Нарингин	Нарингенин	Дегидрокверцетин	Кверцетин	Изокверцетин	Рутин
1	2	3	4	5	6	7
1	4,563	0,996	0,396	0,100	0,525	2,189
2	5,721	1,263	0,653	0,122	0,660	2,793
3	4,126	0,677	0,261	0,071	0,583	1,539
5	5,778	1,606	0,614	0,196	1,007	1,579
4	6,681	1,401	0,652	0,159	0,648	1,869
6	1,793	1,122	0,803	0,151	0,256	1,875
7	3,950	1,321	0,424	0,175	0,587	2,633
8	5,234	0,000	0,708	0,096	0,660	0,545
9	6,396	1,142	1,160	0,163	0,445	1,600
10	3,749	0,999	1,482	0,150	0,429	7,033
11	1,646	0,966	0,488	0,117	0,566	1,376
12	7,281	2,290	1,361	0,239	0,913	1,100
13	3,939	1,012	0,973	0,150	0,537	0,775
14	3,267	1,431	0,484	0,229	0,605	0,700

1	2	3	4	5	6	7
15	1,745	1,345	0,739	0,071	1,072	3,047
16	5,835	1,192	0,424	0,153	0,576	1,099
17	5,921	1,025	1,301	0,117	0,614	2,322
18	3,455	0,000	0,827	0,126	0,199	0,861
19	3,044	0,000	0,649	0,130	0,488	1,588
20	4,881	0,000	0,700	0,171	0,667	1,425
21	5,116	1,731	0,670	0,116	0,488	1,027
22	3,971	0,670	0,733	0,142	0,495	2,090
23	4,588	2,319	0,800	0,121	0,602	3,108
24	2,528	1,999	0,850	0,045	0,434	1,428

Как следует из представленных данных, содержание флавоноидов в индивидуальных образцах варьирует в очень широком диапазоне – от следовых количеств до 7,2 мг/ г сухой массы. При этом практически отсутствуют случаи, когда какой-нибудь флавоноид в растительном образце был бы не обнаружен. Исключение составляет нарингенин, который не был обнаружен в 4 образцах из 24.

Примеры хроматограмм индивидуальных образцов приведены на рис. 3.

*Juniperus sabina* L. Хроматограммы спиртовых экстрактов из отдельных растений четырех различных популяций.



**Рис. 3** Хроматограммы индивидуальных образцов растений можжевельника казацкого (А – популяция 1, Б – популяция 2, В – популяция 3, Г – популяция 4)

Общие по всем популяциям результаты корреляционного анализа показателей содержания флавоноидов и характеристик куртин представлены в табл. 3-5.

Таблица 3

**Реализованные корреляции для морфологических и биохимических параметров *Juniperus sabina* L., 2007 г.**

	Рутин	Изокверцетин	Кверцетин	Сумма фла- воноидов	R1, м	R2, м	Н, м
Рутин							
Изокверцетин	0,4						
Кверцетин	0,5	0,4					
Сумма фла- воноидов	0,4	0,4					
R1, м		0,7					
R2, м				0,7			
Н, м							

Примечание: R1 – большой радиус куртины, R2 – малый радиус куртины, Н – высота куртины.

Установлено, что доля реализованных корреляционных связей между морфологическими и биохимическими параметрами растений за 2007 г. составила от общего их возможного количества 33,3%.

Таблица 4

**Реализованные корреляции для морфологических и биохимических параметров *Juniperus sabina* L, 2008 г.**

	Рутин	Изокверцетин	Кверцетин	Сумма фла- воноидов	R1, м	R2, м	Н, м
Рутин							
Изокверцетин	0,8						
Кверцетин	0,6	0,5					
Сумма фла- воноидов	0,4						
R1, м		0,8					
R2, м		0,5					
Н, м							

Примечание: R1 – большой радиус куртины, R2 – малый радиус куртины, Н – высота куртины.

Таким образом, было установлено, что у образцов, собранных в 2008 г., что доля реализованных корреляционных связей между параметрами от возможного их количества составила 28%.

У образцов, собранных в 2009 г. было обнаружено, что доля реализованных корреляционных связей между параметрами от возможного их количества составила 4,7%.

Данные о суммарной корреляционной картине между показателями почв, характеристиками куртин растений и содержанием флавоноидов в растениях представлены в табл. 6.

Таблица 5

**Реализованные корреляции для морфологических и биохимических параметров *Juniperus sabina* L., 2009 г.**

	Рутин	Изокверцетин	Кверцетин	Сумма флавоноидов	R1, м	R2, м	Н, м
Рутин							
Изокверцетин							
Кверцетин							
Сумма флавоноидов							
R1, м							
R2, м					0,6596		
Н, м							

Примечание: R1 – большой радиус куртины, R2 – малый радиус куртины, Н – высота куртины.

Таблица 6

**Реализованные корреляции для морфологических, биохимических параметров *Juniperus sabina* и показателей почвы**

	R1, м	R2, м	Н, м	Нарингин	Нарингенин	Дигидрокверцетин	Кверцетин	Изокверцетин	Рутин	рН	Соли	Сu
R1, м												
R2, м												
Высота, м		0,6										
Нарингин												
Нарингенин												
Дигидрокверцетин												
Кверцетин					0,7							
Изокверцетин												
Рутин												
рН												
Соли						-0,6				0,9		
Сu												

Примечание: R1 – большой радиус куртины, R2 – малый радиус куртины, Н – высота куртины.

Как следует из данных, представленных в таблице, процент реализованных корреляций составил 6% от общего количества.

Общий анализ количества зарегистрированных соединений и оценка схожести индивидуальных хроматограмм при помощи коэффициента сходства Жаккара позволили выявить следующую картину (табл. 7 и 8).

Таблица 7

**Показатели variability содержания веществ,  
выявленных методом ВЭЖХ**

Показатель	Общее кол-во соединений	Максимум веществ в образце	Минимум веществ в образце	Максимум/минимум
Значение	107	45	19	2,36

Таблица 8

**Значения коэффициента Жаккара для усредненных выборок и выборок,  
построенных на основе индивидуальных значений**

Данные выборок	Коэффициент Жаккара
Усредненные	0,0728
Индивидуальные	0,0079

Таким образом, установлено, что состав накапливаемых растениями можжевельника соединений варьирует в очень широком диапазоне – общее количество выявленных соединений варьирует в 2,36 раз. При этом в целом как на уровне средних по популяциям значений, так и на уровне индивидуальных растений вещества накапливаются сравнительно независимо. Это следует из чрезвычайно низких значений показателей коэффициента сходства.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно утверждать, что поливариантный характер морфобиологических показателей растений можжевельника является ответной реакцией на мозаичность условий в их местообитаниях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**Гирфанов В.К., Ряховская Н.Н.** Микроэлементы в почвах Башкирии и эффективность микроудобрений. М.: Наука, 1975. 155 с.

**Иванова Е.Н.** Классификация почв СССР. М.: Рипол Классик, 1976. 225 с. – **Иудин Д.И., Гелашвили Д.Б., Розенберг Г.С. и др.** Биологические и экологические аспекты теории перколяции // Успехи совр. биологии. 2010. Т. 130, № 5. С. 446-460.

**Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г.** Геохимия техногенеза в районе разработки Сибайского медно-колчеданного месторождения // Записки горного института. 2013. Т. 203. С. 196-204.

**Розенберг Г.С.** Введение в теоретическую экологию. В 2-х томах. Тольятти: Касандра, 2013. Т. 1. 564 с. Т. 2. 445 с.

**Семенова И.Н., Суюндуков Я. Т., Ильбулова Г.Р.** Биологическая активность почв как индикатор их экологического состояния в условиях техногенного загрязнения тяжелыми металлами. Уфа: Гилем, 2012. 196 с. – **Семенова И.Н., Ильбулова Г.Р.** Оценка загрязнения почвенного покрова г. Сибай Республики Башкортостан тяжелыми металлами // Фундаментальные исследования. № 8 (Часть 3). 2011. С. 491-495. – **Семенова И.Н., Суюндуков Я.Т., Севрякова О.А.** Экологическая оценка почв в зоне размещения отвалов карьеров медно-колчеданных месторождений (на примере города Сибай). Уфа: Гилем, 2013. 128 с. – **Суюндуков Я.Т., Янтурин С.И., Сингизова Г.Ш.** Накопление и миграция тяжелых металлов в основных компонентах антропогенных экосистем Башкирского Зауралья в зоне влияния объектов горно-рудного комплекса. Уфа: Гилем, 2013. 155 с.

**Тайчинов С.Н.** Природные зоны и агропочвенные районы Башкирии // Почвы Башкирии. Т. 1. Уфа: БФАН СССР, 1973. С. 72-89.



**Усманов И.Ю., Семенова И.Н., Щербаков А.В., Суяндукоев Я.Т.** Эндемические экологические ниши Южного (Башкирского) Зауралья: многомерность и флуктуирующие режимы // Вестн. Башк. гос. агр. ун-та. 2014. № 1. С. 16-21.

**Хазиев Ф.Х.** Почвы Республики Башкортостан и регулирование их плодородия. Уфа: Гилем, 2007. 288 с.

**Щербаков А.В.** Пластичность корреляционных связей между показателями основного и специализированного метаболизма растений как ответная реакция на непредсказуемость среды обитания. // Изв. Самар. НЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3(1). С. 366-371. – **Щербаков А.В., Даутова Г.Р., Усманов И.Ю.** Межпопуляционная изменчивость флавоноидов хелатирующего комплекса солодки Коржинского *Glycyrrhiza korshinskyi* на Южном Урале // Вестн. Башк. гос. ун-та. 2014. Т. 19, № 1. С. 67-74. – **Щербаков А.В., Усманов И.Ю., Суяндукоев Я.Т.** Внутрипопуляционная изменчивость биосинтеза флавоноидов в лекарственных растениях Южного Урала // Изв. Самар. НЦ РАН. 2014. Т. 16, № 1. С. 274-280. – **Щербаков А.В., Чистякова М.В., Рахманкулова З.Ф., Усманов И.Ю.** Эколого-биохимические аспекты пластичности состава флавоноидов у можжевельника казацкого *Juniperus sabina* L. в условиях Южного Урала // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2009. № 6. С. 458-460. – **Щербаков А.В., Усманов И.Ю., Чистякова М.В.** Экологические аспекты регуляции пластичности накопления флавоноидов на Южном Урале // Вестн. Башк. ун-та. 2011. Т. 16, № 4. С. 1198-1205. – **Щербаков А.В., Чистякова М.В., Аминев Г.Х.** Вариабельность содержания вторичных метаболитов у *Juniperus sabina* L. в условиях Южного Урала // Башк. хим. журн. 2009. Т. 16, № 2. С. 132-137.

**Andreson A.N., McBrantey A.B.** Soil Aggregates as mass fractals / Australian J. Soil Research. 1995, Vol. 33. P. 757-772.

**Golovin A., Krinochkin L., Pevzner V.** Geochemical specialization of bedrock and soil as indicator of regional geochemical endemicity // Geologija. 2004. Vol. 48. P. 22-28.

**Martin M.A., Pachepsky Y.A., Perfect E.** Scaling, fractals and diversity in soils and ecohydrology // Ecol. Model. 2005. Vol. 182. P. 217-220.