

УДК 504.54.05

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОЙ МОЗАИЧНОСТИ И ПРИЗНАКОВ АДАПТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ. I. *GLYCYRRHIZA KORSHINSKYI* GRIG.

© 2016 А.В. Щербаков¹, М.В. Мавлетова²,
И.Ю. Усманов², Г.Я. Биктимерова³

¹ Башкирский государственный университет, г. Уфа (Россия)

² Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск (Россия)

³ 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, солодка Коржинского, 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. I. *Glycyrrhiza korshinskyi* Grig. – The mosaic nature 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 process 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, *Glycyrrhiza korshinskyi*, the set-multidimensional ecological niche, morphological and physiological parameters of the correlation-linkages.

ВВЕДЕНИЕ

Соединения металлов являются одними из наиболее распространенных факторов, определяющих разнообразие почв. Известно, что природная среда Южного (Башкирского) Зауралья формировалась под влиянием нескольких планетарных и региональных процессов. Переходный характер ландшафтов от горных к равнин-

Щербаков Аркадий Владимирович, кандидат биологических наук, доцент, humanist314@rambler.ru; Мавлетова Мария Владимировна, аспирант, sairrotarr@gmail.com; Усманов Искандер Юсуфович, доктор биологических наук, профессор, iskander.usmaniv@mail.ru; Биктимерова Гульназ Ялилевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, alexa-94@mail.ru

ным определяет особенности эрозии и, следовательно, горизонтального переноса частиц почв и подпочвенных пород с ветром или грунтовыми водами (Milne, 1991; Хазиев, 2007; Семенова, 2013). Регион охватывает территории несколько геохимических провинций, различающихся по составу и концентрациям химических элементов (Опекунов, Опекунова, 2013). В результате естественных и антропогенных процессов перераспределение элементов отличается чрезвычайно высокой мозаичностью. В результате этого сформировалось множество элементов ландшафтов разного масштаба с уникальными комбинациями химических элементов и хаотичным соотношением их концентраций (Усманов и др., 2014). При этом можно считать, что каждое отдельное растение может оказаться в условиях с уникальным набором почвенных условий. Ответной реакцией на непредсказуемость среды обитания является реализуемый растениями принцип множественности первичных адаптивных реакций. В результате этого растения способны демонстрировать широчайший спектр индивидуальных ответных реакций, восприятие полноты которого теряется при использовании усредненных показателей. В полной мере это относится и к картине накопления растениями специализированных метаболитов, и, в частности, флавоноидов (Щербаков и др., 2009, 2011, 2013, 2014). Солодка Коржиканского является ценным и перспективным лекарственным растением, и изучение особенностей накопления флавоноидов у этого вида солодки в условиях Башкирского Зауралья представляет большой теоретический и практический интерес.

Целью данного сообщения является демонстрация мозаичности показателей содержания флавоноидов у растений солодки Коржиканского (*Glycyrrhiza korshinskyi*) в ответ на мозаичность почвенных условий.

МАСШТАБИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОЙ МОЗАИЧНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ

Анализ сложного распределения соединений в почвах Южного Зауралья традиционно привлекает внимание многих исследователей (Тайчинов, 1973, Гирфанов, Ряховская, 1975; Иванова, 1976 и др.). Можно условно выделить три уровня пространственной организации этой почвенной мозаичности. Первый и наиболее масштабный уровень – это уровень геохимических провинций с масштабом изменчивости химического состава на уровне десятков и сотен километров (Опекунов, Опекунова, 2013). На этом уровне обычно принято рассматривать земли трех геохимических провинций: Баймак-Бурибаевской, Юлкусско-Тубинской, Красноуральско-Сибай-Гайской. Второй уровень – уровень перемещения и взаимного влияния химических элементов в почвах в результате крупномасштабных долгосрочных процессов выветривания и эрозии. Масштаб изменчивости состава химических элементов на этом уровне – километры (Семенова и др., 2012). Третий, наиболее локальный уровень – уровень микрофлуктуаций состава химических элементов в почвенных местообитаниях на расстояниях в десятки и сотни метров. В отдельных случаях резкие изменения состава химических элементов почв могут наблюдаться на расстояниях в несколько метров и даже меньше (Усманов и др., 2014).

Содержание элементов в почвах данного региона контролируется всем комплексом физико-химических процессов выветривания, эрозии, биогенной и антропогенной миграции химических элементов (Семенова, 2013). Большую роль также играют и ионообменные процессы в почвенно поглощающих комплексах. Необходимо отметить, что колебания содержания в пробах отдельных веществ весьма

значительны независимо от пространственного масштаба исследований. Можно ожидать, почвенная мозаичность проявляется независимо от избранного пространственного масштаба. Анализ прямого соответствия отдельных проб почв и параметров растений в этой же точке для растений Южного Зауралья ранее не проводилось.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами служили образцы почвы и надземной части растений солодки Коржинского, собранные на территории Башкирского Зауралья (Баймакский район) в 2009 г.

Популяция 1 – окрестности д. Карышкино. Место с интенсивным выпасом скота и домашних водоплавающих птиц. Закамененность грунта слабая. Координаты опорной точки: 52.31.45 сев. широты; 58.37.09 вост. долготы; высота 325,5 м над ур. моря.

Популяция 2 – окрестности д. Баишево, основание юго-восточного склона горы Кынгыр-тау, солончаки. Средняя закамененность грунта с выходами скальных пород над поверхностью почвы. Координаты опорной точки: 52.27.15 сев. широты; 58.30.16 вост. долготы; высота 375,3 м над уровнем моря.

Популяция 3 – дачный поселок Аркаим, западная окраина Сибая.

Данная точка сбора находится в непосредственной близости от нового активно разрабатываемого Сибайского медного карьера. Согласно данным некоторых авторов (Опекунов, Опекунова, 2005) в этих местах в почве может наблюдаться высокое фоновое содержание меди. Координаты опорной точки: 52.47.07 сев. широты; 58.34.12 вост. долготы; высота 570 м. над уровнем моря.

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 pH. Калибровочный график строился по хлориду калия.

Определение флавоноидов в образцах надземных органов солодки 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 солодки неизбежно приводил к потере общей информативности. Это связано с тем, что при подсчете средних значений не учитываются индивидуальные сочетания почвенных факторов, воздействующие на отдельные растения. На рисунке 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 вынуждены прорастать и жить именно в тех условиях, в которых они укоренились. Как следует из рис. 1 и 2, отдельные местообита-

ния существенно различаются между собой сразу по нескольким параметрам. Это дало нам основание перейти к прямым анализам почв в местах произрастания данного растения и соответствующих параметров этого растения.

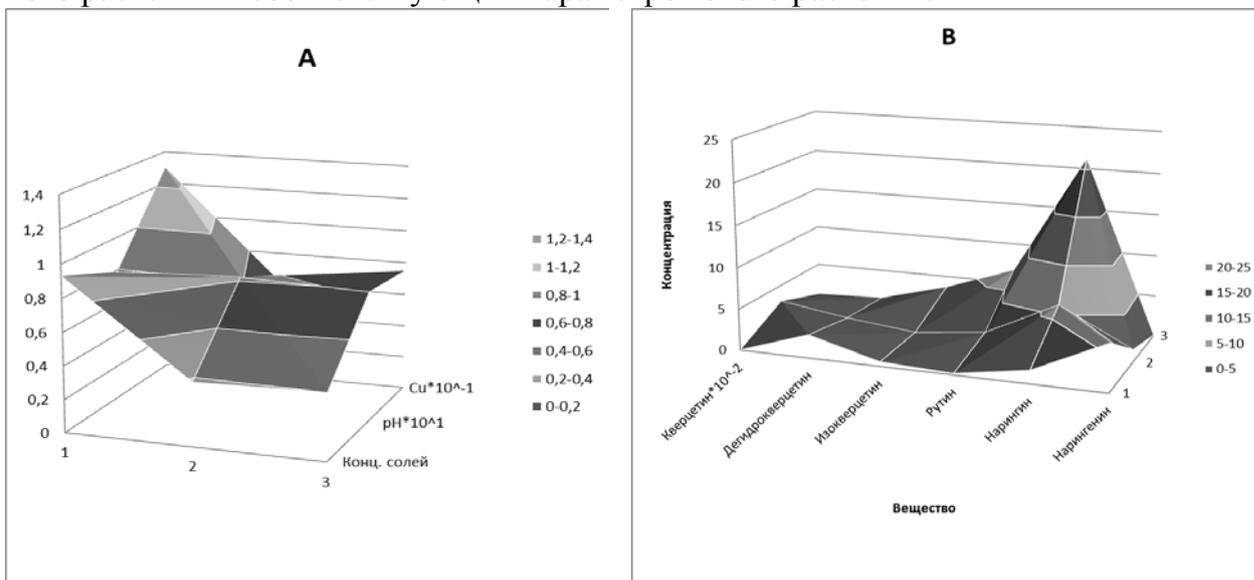


Рис. 1. Среднестатистические показатели почвенных условий (А) и содержания в растениях отдельных флавоноидов (В)

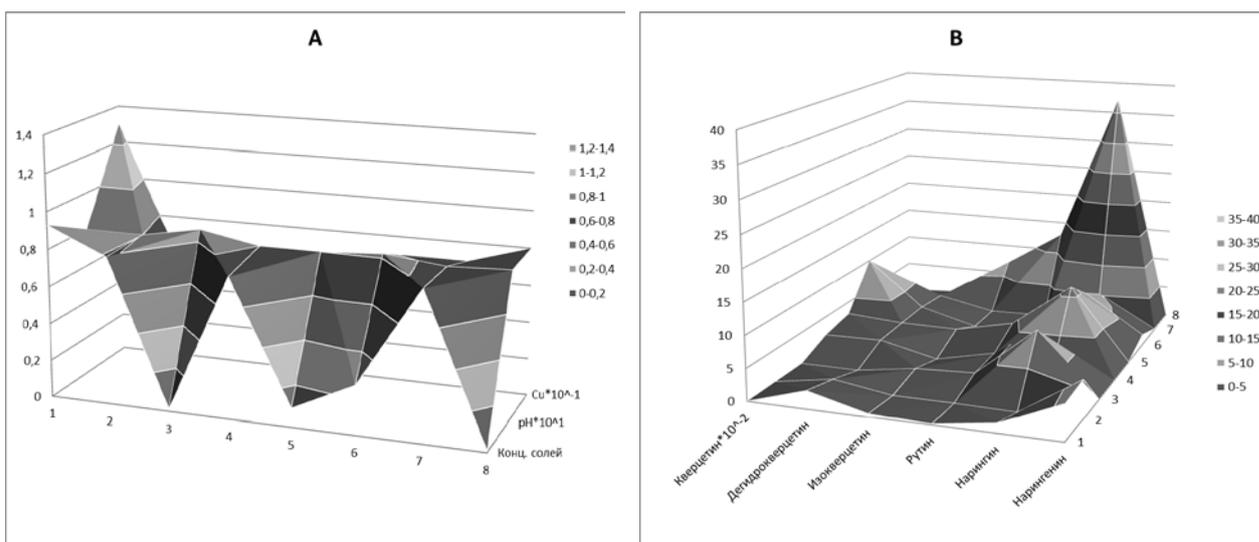


Рис. 2. Локальные (точечные) показатели почвенных условий (А) и содержания в индивидуальных растениях отдельных флавоноидов (В)

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

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 идентифициро-

ванные 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 растений солодки Коржинского**

№ о/г	Содержание веществ, мг/г		рН водной вытяжки
	Медь (Cu)	Конц. солей	
1.1	0,13	0,93	7,9
2.1	0,06	0,79	8,01
2.2	0,05	0,01	8,6
2.3	0,06	0,75	8
2.4	0,06	0,1	8
2.5	0,07	0,26	8,2
Ср.	0,06	0,38	8,18
3.1	0,07	0,79	7,84
3.2	0,08	0,01	7,98
Ср.	0,075	0,4	7,91

Таблица 2

Содержание флавоноидов в индивидуальных образцах солодки Коржинского

№ о/г	Содержание веществ, мг/г сухой массы					
	Кверцетин	Дигидро-кверцетин	Изокверцетин	Рутин	Нарингин	Нарингенин
1.1	0	2,8	0,53	0,16	1,56	5,67
2.1	0	1,52	0,15	0,15	0	6,05
2.2	0	0	1,39	1,81	9,57	0
2.3	0,02	2,13	0,05	2,09	1,44	0
2.4	0,03	2,39	2,31	4,31	11,26	0
2.5	0,1	2,59	0,17	0,49	7,8	1,76
Ср.	0,03	1,73	0,78	1,77	6,01	1,56
3.1	0,02	2,16	0,3	0,5	5,24	0,13
3.2	0	0,51	6,95	12,8	37,14	0
Ср.	0,02	1,33	3,62	9,15	21,19	0,13

Как следует из представленных данных, содержание флавоноидов в индивидуальных образцах варьирует в очень широком диапазоне – от полного отсутствия до 30 и более мг/ г сухой массы. При этом только изокверцетин и рутин были обнаружены во всех образцах.

Примеры хроматограмм индивидуальных образцов приведены на рис. 3.

Общие по всем популяциям результаты корреляционного анализа показателей содержания флавоноидов и почвенных условий представлены в табл. 3.

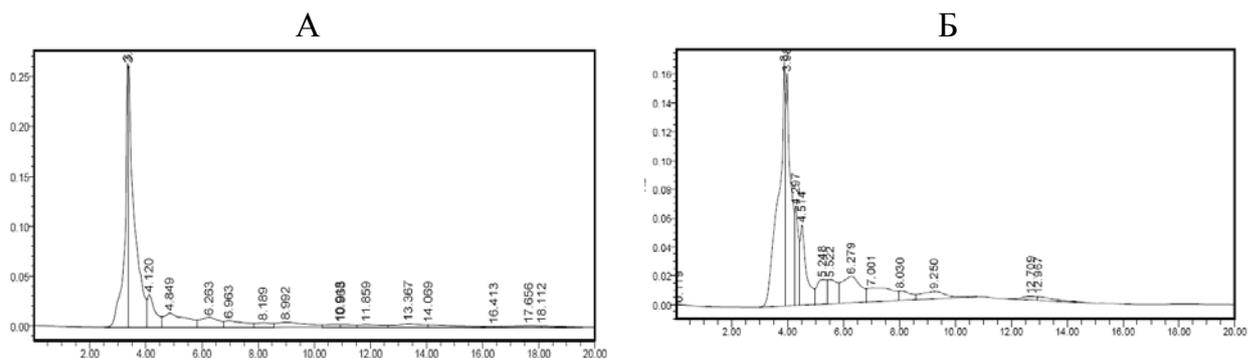


Рис. 3. Хроматограммы индивидуальных образцов растений солодки Коржинского, выросших на почвах с различным содержанием меди (А – 0,05 мг/г, Б – 0,75 мг/г)

Таблица 3

Реализованные корреляции для показателей содержания флавоноидов и почвенных условий

	Кверцетин*10 ⁻²	Дегидро-кверцетин	Изокверцетин	Рутин	Нарингин	Нарингенин	Концентрация солей	pH*10 ¹	Cu*10 ⁻¹
Кверцетин*10 ⁻²									
Дегидрокверцетин									
Изокверцетин									
Рутин			0,97						
Нарингин			0,97	0,95					
Нарингенин									
Концентрация солей					-0,7				
pH*10 ¹									
Cu*10 ⁻¹									

Процент реализованных корреляционных связей составляет 11,1%.

Общий анализ количества зарегистрированных соединений и оценка схожести индивидуальных хроматограмм при помощи коэффициента сходства Жаккара позволили выявить следующую картину (табл. 4 и 5).

Таблица 4

Показатели вариабельности содержания веществ, выявленных методом ВЭЖХ

Показатель	Общее кол-во соединений	Максимум веществ в образце	Минимум веществ в образце	Максимум/минимум
Значение	48	30	13	2,31

Значения коэффициента Жаккара для выборок, построенных на основе индивидуальных значений

Пары популяций	Коэффициент Жаккара
1-2	0,42
2-3	0,34
1-3	0,318

Таким образом, установлено, что состав накапливаемых растениями солодки соединений варьирует в очень широком диапазоне – общее количество выявленных соединений варьирует в 2,31 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 низких значений показателей коэффициента сходства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно утверждать, что поливариантный характер морфофизиологических показателей растений солодки Коржинского 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., Суюндуков Я.Т. Эндемичные 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. – **Щерба-**

ков 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., Суюндуков 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., 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.

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.