

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ЗОНАМ РИЗОСФЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА В АГРОЦЕНОЗАХ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

О.В. Шопина, И.Н. Семенов, Т.А. Парамонова

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE RHIZOPHERE IN AGROCENOSSES OF THE CHERNOZEM REGION

O.V. Shopina, I.N. Semenov, T.A. Paramonova

Lomonosov Moscow State University, Moscow

После выявления общих закономерностей биологического круговорота химических элементов (ХЭ) новым направлением в биогеохимии стало изучение распределения веществ по зонам ризосферного пространства с выделением ближней к корням (активной) и дальней (пассивной) зоны ризосферы, актуальное в контексте анализа способности растений менять химический состав почвы вблизи поверхности корней [Евдокимов, 2013; Соколова, 2015].

Цель работы: выявление особенностей распределения незаменимых питательных и токсичных ХЭ, а также ХЭ с неопределенными физиологическими свойствами по зонам ризосферного пространства при выращивании пшеницы, сои, костреца и козлятника.

Исследования проведены на трёх площадках с агрочерноземами глинисто-иллювиальными, занятых агроценозами пшеницы (*Triticum aestivum*), сои (*Glycine max*) и козлятниково-кострецовой (*Galega orientalis u Bromopsis inermis*) травосмеси, с отбором 35 образцов почвы. Почвенные образцы отбирали монолитами ненарушенного сложения с помощью кольцевого пробоотборника с площади 300 см² послойно с шагом по 10 см до глубины 30 см в трехкратной повторности, а также из ближней (остающейся на корнях извлеченного из почвы растения – так называемые бусы по корням) и дальней зон ризосферы (рис. 1). Образцы почв ризосферного пространства разделяли на фракции структурных агрегатов диаметром более 10 мм, 10-2 мм, 2-0,25 мм и 0,25 мм для дальнейшего отдельного анализа.

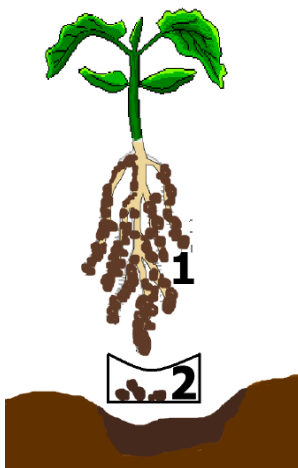


Рисунок 1. Опробование ризосферного пространства из: 1 – ближней зоны и 2 – дальней

В почвах определяли $pH_{\text{водн}}$ и содержание углерода органических веществ ($C_{\text{орг}}$) стандартными методами, гранулометрический состав – лазерно-дифрактометрически (прибор «Fritsch Analysette 22 MicroTec Plus», Германия), элементный состав – рентген-флуоресцентным методом (прибор «Спектроскан Макс-GV», Россия). Подвижные формы элементов определяли в 0,1 М ацетатно-аммонийной вытяжке методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой в ИПТМ РАН (прибор «iCAP-6500» фирмы «Thermo Scientific», США. Аналитические данные обработаны в

пакетах «Excel 2013» и «Statistica 10» с применением дисперсионного анализа, тестов Манна-Уитни и Уилкоксона и расчета критерия в 2σ .

Все изучаемые площадки расположены в схожих условиях элювиальных (пшеница, злаково-бобовая травосмесь) и трансэлювиальных (соя) ландшафтов. Значения $pH_{\text{водн}}$ верхних горизонтов и ризосферного пространства слабокислые-нейтральные и варьируют в пределах 5,6–6,9. Содержание $C_{\text{орг}}$ почв трех площадок не отличается больше, чем на 2%. Статистически различия не значимы ($p > 0,08$). Гранулометрический состав верхних 30 см всех изученных почв однороден ($p > 0,08$ для всех фракций), его структура схожа для всех площадок: максимальную долю (40-50%) имеет фракция крупной пыли, 20-30% - мелкая пыль и около 20% - средняя пыль. Вклад песчаных фракций и ила невелик.

По элементному составу верхние 30-см почв изученных площадок значимо не отличаются ($p\text{-value} > 0,08$ для всех ХЭ). Относительно верхней части земной коры изученные агрочерноземы обогащены (подстрочный индекс – кларк концентрации) $Co_{1,9}$, $P_{1,6}$, $Cu_{1,6}$, $Ti_{1,4}$, $Ni_{1,4}$, $Si_{1,3}$, $As_{1,3}$ и обеднены (подстрочный индекс – кларк рассеяния) $Ca_{4,1}$, $Mg_{3,6}$, $Sr_{1,6}$, $Fe_{1,3}$. По содержанию подвижных форм ХЭ почвы трех площадок также не имеют значимых различий ($p\text{-value} > 0,08$ для всех ХЭ). Наибольшее содержание подвижных форм характерно для Ca_{46} , Sr_{15} , Mn_8 и Mg_6 (подстрочный индекс – доля подвижных форм, %), содержание подвижных форм Zn_3 , P_2 , K_1 , Pb_1 , Ni_1 , $Co_{0,5}$ – близки. А подвижные формы $Co_{0,5}$, $Cr_{0,3}$, $Al_{0,08}$, $Cu_{0,08}$, $Fe_{0,02}$, $Si_{0,02}$ содержатся в почве в очень небольших количествах.

Таким образом, среднее содержание ХЭ в пахотных почвах территории на мезоуровне характеризуется однородным пространственным распределением. В то же время, на микроуровне распределения ХЭ в корнеобитаемом пространстве различных сельскохозяйственных растений, несмотря на их возделывание в качестве однолетних культур, в течение вегетационного сезона могут создаваться фитогенные поля обогащения или обеднения ближней зоны ризосферы рядом ХЭ. Так, различия превышающие 2σ между ближней и дальней зонами ризосферы обнаружены в исследованных агроценозах в 22% случаев (элемент-растение).

Общее содержание. Статистически значимые отличия между валовыми величинами содержания ХЭ в ризосферной зоне и в среднем в 30-см слое у пшеницы характерны только для V, которого меньше в ризосферной зоне, чем в 30-см слое, также в ризосфере пшеницы содержится меньше, чем на 2σ : Fe, Co, Cu, Mn (во фракциях агрегатов >10 , $10-2$, $<0,25$ мм), и больше Al, Mn, Ni ($2-0,25$ мм), в ризосфере сои значимо больше Al, Cu и Cr, а также больше чем на 2σ во всех фракциях $K > Si > P > Mg$, Mn , $Cr > Al$, Ni , $Sr > Fe$, $Ca > Ti$, Co , V . Для ризосферного пространства почв костреца и козлятника статистически значимые различия не выявлены. В ризосферном пространстве козлятника также наибольшие значения содержания Si, Mn, Cu, As, Ni, Zn и Sr характерны для фракции $2-0,25$ мм ближней зоны ризосферы.

Значимых различий элементного состава между ближней и дальней зонами ризосферы у всех растений не выявлено. В ближней зоне пшеницы существенно меньше $Mn < Fe$, Si , Zn , Co , Cu , $As < V$, Cr , Ni , Ti , Pb , чем в дальней зоне (особенно обеднена фракция $<0,25$ мм). В ближней зоне ризосферы костреца содержится меньше Ti. Ближняя и дальняя зоны ризосферы у сои практически не различаются. У козлятника в ближней зоне ризосферы содержится меньше Cr и Mg и больше K, во фракции агрегатов $2-0,25$ см ближней зоны также содержится больше $Zn > Si > Cu > Ti > Fe$, Ni , $Pb > Mn$, $As > V$, Sr , чем в дальней.

Подвижные формы. Подвижность соединений P и K в ближней зоне ризосферы пшеницы относительно дальней зоны больше, чем на 2σ (табл. 1), что может быть объяснено мобилизацией этих необходимых питательных элементов различными органическими экссудатами [Hinsiger, 1998].

У сои в ближней ризосфере выше содержания подвижных Fe, K и Mg, что может быть связано со способностью сои подкислять прикорневое пространство [Hinsinger, Plassard, Tang, 2003]. В ближней ризосфере костреца и козлятника одинаков набор ХЭ с

повышенным содержанием подвижных форм: P, K, Mg, что, вероятно, обусловлено совместным воздействием этих растений.

Таблица 1. Подвижность (%) ХЭ по зонам ризосферы

ХЭ	Злаковые				Бобовые			
	Пшеница		Кострец		Соя		Козлятник	
	Ближняя	Дальняя	Ближняя	Дальняя	Ближняя	Дальняя	Ближняя	Дальняя
Fe	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01
Ca	45	45	50	50	45	50	48	50
Al	0,13	0,13	0,03	0,04	0,13	0,05	0,05	0,04
Si	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03
P	1,6	1,5	4,6	2,1	1,5	1,8	1,8	1,1
K	1,6	1,2	1,4	0,68	1,2	0,99	0,8	0,61
Mg	7,4	7,7	9,4	6,7	7,7	7,4	7,8	6,2
Mn	12	12	9,6	8,1	12	5,7	9,7	8,5
Co	0,86	0,7	<0,3	<0,3	0,7	<0,3	0,47	<0,3
Cr	0,29	0,53	0,21	0,18	0,5	0,22	0,23	0,15
Ni	1,1	1,2	0,61	0,61	1,2	0,77	0,68	0,69
Zn	2	2,3	2,2	1,7	2,3	1,9	<0,1	<0,1
Pb	<3	4,2	<3	<3	4,2	<3	<3	<3
Sr	18	18	17	18	18	13	17	17

% в ближней зоне больше на 2б, чем в дальней зоне

Степень преобразования элементного состава ризосферного пространства агрочерноземов Плавского плато уменьшается в ряду растений: соя>пшеница, козлятник>кострец. Различия по общему содержанию элементов в ближней и дальней зонах ризосферы не значимы, так как культуры произрастали на территории всего год. По общему содержанию ближняя зона почвы в ризосферном пространстве пшеницы обедняется во фракции агрегатов диаметром менее 0,25 мм Mn < Fe, Si, Zn, Co, Cu, As < V, Cr, Ni, Ti, Pb. В ближней зоне ризосферы козлятника увеличивается содержание Zn > Si > Cu > Ti > Fe, Ni, Pb > Mn, As > V, Sr во фракции агрегатов 2-0,25 мм. У сои и костреца различия между элементным составом почв ближней и дальней зон ризосферы не существенны. В ближней зоне ризосфере пшеницы содержится больше подвижных форм P, K, сои – Fe, K и Mg, у растений травосмеси – P, K, Mg.

Полевые работы выполнены в рамках исследований кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова «Биогеохимия радионуклидов и экотоксикантов»; элементный состав растений и содержание подвижных форм в почвах – проекта РНФ № 17-77-20072. Авторы благодарны к.г.н. Л.А.Турыкину и студентам О.Л. Комисаровой, М.М. Годяевой и Е.С. Азаровой за участие в полевых и лабораторных исследованиях.

Литература

1. Hinsinger P. How Do Plant Roots Acquire Mineral Nutrients? Chemical Processes Involved in the rhizosphere // Adv. Agromomy. 1998. № 64. С. 225–265.
2. Hinsinger P., Plassard C., Tang C. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review // Plant Soil. 2003. № 248. С. 43–59.
3. Евдокимов И.В. Динамика ризосферного эффекта в почве // Почвоведение. 2013. № 6. С. 715–724.
4. Соколова Т.А. Специфика свойств почв в ризосфере: анализ литературы // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1097–1111.