

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ПОЙМЕННОГО ЛАНДШАФТА р. УНЕЧА

А.Л. Силаев, к.с.-х.н., Г.В. Чекин, к.с.-х.н., Е.В. Смольский, д.с.-х.н.  
Брянский государственный аграрный университет, e-mail: gb-swamp@yandex.ru

*Представлены результаты исследований в 2019 г. содержания и распределения микроэлементов в аллювиальных почвах различных элементов пойменного ландшафта, и их взаимосвязь с показателями плодородия. Установлено, что использование ландшафта пойм должно основываться на знании содержания микроэлементов в аллювиальных почвах подсистем для четкой дифференциации почвенного покрова. Особенности вертикального и горизонтального распределения микроэлементов в почвах пойменных ландшафтов обусловлены уровнем pH, содержанием органического углерода и гранулометрическим составом, которые участвуют в перераспределении микроэлементов, содержащихся в аллювиальных почвах. При группировке по показателю Кларк концентрации выявлено, что убывающие ряды имеют схожую структуру, что объясняется однотипными биогеохимическими условиями пойменного режима, в котором формируются аллювиальные почвы. Проведенные исследования подтверждают мысль об относительно низком содержании большинства микроэлементов в почвах естественных пойменных кормовых угодий. Исходя из этого, важным остается вопрос микроэлементных подкормок сеяных луговых трав для получения стабильных урожаев надлежащего качества.*

**Ключевые слова:** аллювиальные почвы, пойма, ландшафт, микроэлементы, Кларк концентрации, плодородие, корреляция, Брянская область.

## MICROELEMENTS DISTRIBUTION IN SOILS FLOODPLAIN LANDSCAPE OF THE UNECHA RIVER

Ph.D. A.L. Silaev, Ph.D. G.V. Chekin, Dr.Sci. E.V. Smolsky  
Bryansk State Agrarian University, e-mail: gb-swamp@yandex.ru

*The results of research in 2019 on the content and distribution of microelements in alluvial soils of various elements of the floodplain landscape, and their relationship with fertility indicators are presented. It has been established that the use of floodplain landscapes should be based on knowledge of microelements in alluvial soils of subsystems to clearly differentiate the soil cover. The characteristics of the vertical and horizontal distribution of microelements in the soils of floodplain landscapes are due to the level of pH, the content of organic carbon and particle size distribution, which are involved in the redistribution of microelements contained in alluvial soils. When grouping by the Clark concentration indicator, it was revealed that the decreasing rows have a similar structure, which is explained by the same type of biogeochemical conditions of the floodplain regime in which alluvial soils are formed. Studies have confirmed the relatively low content of most microelements in the soils of natural floodplain forage. Based on this, the issue of microelement feeding of seeded meadow grasses to obtain stable crops of proper quality remains important.*

**Keywords:** alluvial soils, floodplain, landscape, microelements, Clark concentration, fertility, correlation, the Bryansk region.

Содержание и распределение микроэлементов в почвах аллювиальных ландшафтов лимитируется рядом факторов, таких как высокая сезонная изменчивость, сильная пестрота почвенного покрова, паводковые воды, показатели почвенного плодородия [1-3]. Аллювиальные ландшафты с одной стороны аккумулируют материал, поступающий с территории водосбора, с другой – приносимый паводковыми водами. Это обуславливает особую роль

данного типа ландшафта и особенно почвенного компонента как маркера техногенно-геохимических преобразования в бассейне реки. Занимая сравнительно небольшую площадь, аллювиальные почвы представляют значительную ценность для сельскохозяйственного производства [4-7]. Особенно большую ценность представляют пойменные почвы в центральных районах европейской части России, которые нуждаются в производ-

стве молочных продуктов для снабжения городов и промышленных центров [8].

Микроэлементы характеризуются значительной подвижностью и активным участием в биологическом круговороте веществ [9-12].

С точки зрения ландшафтно-геохимических исследований в пойменных ландшафтах наибольшей информативностью обладает верхний корнеобитаемый слой аллювиальных почв, включающий собственно гумусовый горизонт и, частично, следующий за ним слой аллювия разной степени вовлеченности в почвообразовательный процесс. Свойства данного слоя служат как чувствительным индикатором техногенного загрязнения, так и показателем возможности формирования урожая естественных кормовых трав [13-19]. В связи с этим, выяснение особенностей рассеяния и аккумуляции микроэлементов в аллювиальных почвах актуально.

**Цель исследований** – изучение содержания и распределения микроэлементов в аллювиальных почвах различных элементов пойменного ландшафта, и их взаимосвязь с показателями плодородия.

**Объекты и методы.** Исследования проводили в 2019 г. в ландшафте поймы р. Унеча (правый берег), расположенном в западной части Брянской области (Клинцовский р-н, с. Лопатни, действующая мелиорационная система). Территория представляет собой определенный набор природных условий (почвенный покров, гидрология, геоморфология, литология участка и т.п.). Различные сочетания подсистем образуют ландшафт конкретной поймы, обуславливающий индивидуальные закономерности поступления, накопления, перемещения элементов. Отбор почвенных образцов для определения валового содержания микроэлементов проводили в разных по геоморфологии и гидрологии подсистемах пойменного ландшафта методом почвенных ключей. Каждый ключевой участок состоял из пяти точек пробоотбора (в центре – полнопрофильный разрез, по углам «конверта» – полуямы).

Почвы исследуемой территории: прирусловая подсистема ландшафта поймы – аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная; центральная подсистема ландшафта поймы – аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная; притеррасная подсистема ландшафта поймы – аллювиальная лугово-болотная.

Образцы отбирали со стенки разреза. К анализам образцы подготавливали общепринятыми методами: общий углерод определяли по ГОСТ 26213-91; обменный калий и подвижный фосфор – по ГОСТ Р 54650-2011;  $pH_{KCl}$  – по ГОСТ 26483-85; обменные кальций и магний – по ГОСТ 26487-85.

Разложение почв для валового определения микроэлементов осуществляли смесью концентри-

рованных азотной и плавиковой кислоты с помощью микроволновой системы MARS 6. Валовое содержание микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом (Shimadzu-7000, Квант-З.ЭТА, Методика М-МВИ 80-2008). Анализы выполнены в испытательной лаборатории Центра коллективного пользования приборным и научным оборудованием при Брянском ГАУ (аттестат аккредитации RA.RU.21АН31).

Для определения изменчивости содержания микроэлементов по слоям аллювиальных почв использовали коэффициент вариации, который показывает степень изменчивости показателя [20].

Для характеристики степени концентрирования или рассеяния микроэлементов в почвах, рассчитывали Кларк концентрации (КК) по формуле:  $КК = C_j/K$ , где  $C_j$  – содержание микроэлемента в почве;  $K$  – среднее содержание элемента в почвах мира. Геохимические индексы составляли в виде ранжированных дробных показателей, где возле дробной черты – микроэлементы с околосредними значениями ( $КК = 0,9-1,1$ ), в числителе – микроэлементы с содержанием выше Кларка ( $КК > 1,2$ ), в знаменателе – микроэлементы с содержанием ниже Кларка ( $КК < 0,9$ ) [21].

Для выявления почвенных факторов, связанных с распределением микроэлементов, использовали корреляционный анализ, который позволяет определить связи между исследуемыми переменными, к которым в нашем случае относятся микроэлементы, обменная кислотность, органическое вещество, подвижные формы фосфора, обменные формы калия, а также обменные кальций и магний. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием MS Excel 2016 и Statistica.

**Результаты и обсуждение.** Формирование уровня содержания элементов в почвах подчиняется определенным закономерностям, обусловленным действием многих факторов, и служит результатом весьма сложных и многообразных биогеохимических процессов [22].

Содержание химических элементов в пойменных почвах, которые имеют промывной режим, характеризуется значительной сложностью и пестротой. В аллювиальных почвах формирование профиля обусловлено неодинаковой длительностью поемного процесса, особенностями видового состава растительного покрова, различными гранулометрическими и минералогическими составами почв и физико-химическими свойствами аллювиальных наносов в различных частях поймы [23].

Сравнительный анализ химического состава почвенных образцов обнаружил, что содержание микроэлементов в аллювиальных почвах зависело от глубины слоя и генезиса почвы и варьировало в зависимости от микроэлемента: Cu от 6,18 до 25,39; Ni от следового количества до 29,53; Zn от 11,05 до

65,31; Mn от 318,07 до 5849,81; Cr от 81,38 до 255,36; Cd от 0,04 до 3,04; Pb от 2,65 до 7,40; Co от 0,31 до 1,34; Mo от следового количества до 0,20; As от 0,24 до 5,36 мг/кг (табл. 1).

В отдельных слоях исследуемых почв подсистем пойменного ландшафта было установлено превышение Кларка микроэлементов: прирусловая (Mn в 6,9 раза) центральная (Cr в 1,3; Cd в 6,1; As в 1,1 раза) и притеррасная (Cu, Zn в 1,3; Cr в 1,1 раза). При этом, если в прирусловой подсистеме превышение Mn наблюдали в слое 0-5 см, то в центральной и притеррасной – в более глубоких слоях почвы.

Распределение валового количества микроэлементов в слое 0-20 см аллювиальных почв различных подсистем пойменного ландшафта различалось, что вероятно обусловлено особенностями их генезиса и водного режима.

В почве прирусловой поймы валовое содержание меди, хрома, свинца и мышьяка в слое 0-20 см слабо варьировало, что указывает на их равномерное вертикальное распределение. Содержание никеля, цинка, марганца, кадмия и кобальта убывало вниз по слою 0-20 см. Содержание молибдена в образцах не позволяет делать обоснованных выводов о его распределении.

В почве центральной поймы валовое содержание меди, цинка и свинца в слое 0-20 см изменялось незначительно. Для остальных элементов характерно увеличение содержания в средней и нижней части слоя.

В почве притеррасной поймы валовое содержание меди, цинка, марганца, хрома, кадмия, свинца и кобальта равномерно по слою 0-20 см (коэффициент вариации в пределах 8-23%). Никель и молибден распределены с минимумом в слое 10-15 см, и максимумом в 0-10 см. Мышьяк имеет максимум содержания в слое 5-15 см.

Накопление металлов в верхних слоях аллювиальных почв связывают с обогащением этих горизонтов органическим веществом и оксидами железа и марганца, которые действуют как партнеры по сорбции [24]. Это свидетельствует о сильном влиянии первичных свойств почвы и естественных почвенных процессов на вертикальное распределение валового количества металлов. Накопление некоторых металлов в поверхностных горизонтах может указывать на значительный вклад антропогенной деятельности [25].

Мышьяк в почвах встречается преимущественно в виде анионов и имеет слабую адсорбцию на отрицательно заряженных органических соединениях. Таким образом, он с поверхности почвы, богатой органическими веществами, может легко вымываться в нижние слои [26]. Аналогичное объяснение распределения в профиле возможно для молибдена, также преимущественно находящегося в почве в виде анионов.

В таблице 2 представлены медианы содержания микроэлементов в почвах пойменного ландшафта. По этим величинам рассчитаны значения Кларка концентрации (КК), отражающие уровни накопления элементов. При группировке КК в виде убывающего ряда, получены следующие результаты:

- прирусловая: Mn > Cr > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd > As > Co > Mo;
- центральная: Mn > Cr > Cu > Zn > Pb > Cd > Ni > As > Co > Mo;
- притеррасная: Cu > Zn > Cr > Cd > Pb > Mn > Ni > As > Co > Mo.

Убывающие ряды имеют схожую структуру, что объясняется однотипными биогеохимическими условиями пойменного режима, в котором формируются аллювиальные почвы. Некоторые отличия (положение КК Mn в ряде) присутствуют в почве

**1. Валовое содержание микроэлементов в почвах поймы р. Унеча**

Почва	Мощность слоя, см	Cu	Ni	Zn	Mn	Cr	Cd	Pb	Co	Mo	As
		мг/кг									
Аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная супесчаная (P1)	0-5	8,29	20,48	39,96	5849,81	119,12	0,19	3,42	0,60	следы	0,36
	5-10	6,84	16,92	22,51	588,78	94,26	0,05	2,79	0,37	0,01	0,24
	10-15	6,55	1,46	23,40	545,16	113,60	0,09	3,86	0,40	следы	0,30
	15-20	6,18	следы	11,05	318,07	81,38	0,04	2,65	0,31	0,04	0,33
<b>Коэффициент вариации (V), %</b>		<b>13</b>	<b>108</b>	<b>49</b>	<b>147</b>	<b>17</b>	<b>74</b>	<b>18</b>	<b>30</b>	<b>122</b>	<b>17</b>
Аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная легкосуглинистая (P2)	0-5	11,35	2,83	28,10	553,92	151,02	0,13	3,93	0,56	0,01	0,45
	5-10	14,49	19,02	29,74	498,66	85,11	0,09	5,30	0,63	0,01	0,56
	10-15	13,91	23,50	32,41	674,54	121,26	3,04	5,81	0,77	0,03	0,78
	15-20	10,33	9,94	35,99	1682,64	255,36	0,25	5,94	1,34	0,20	5,36
<b>Коэффициент вариации (V), %</b>		<b>16</b>	<b>67</b>	<b>11</b>	<b>66</b>	<b>48</b>	<b>164</b>	<b>18</b>	<b>43</b>	<b>150</b>	<b>134</b>
Аллювиальная перегнойно-болотная среднесуглинистая (P3)	0-5	24,88	29,53	65,31	484,51	176,15	0,48	5,11	0,70	0,13	0,99
	5-10	19,17	28,62	50,60	490,58	225,72	0,33	7,40	0,72	0,16	1,28
	10-15	25,39	8,78	46,73	558,63	218,78	0,31	6,39	0,77	0,01	1,96
	15-20	17,78	13,46	57,86	562,00	156,26	0,48	6,38	0,87	0,09	0,53
<b>Коэффициент вариации (V), %</b>		<b>18</b>	<b>52</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>68</b>	<b>50</b>
Кларки химических элементов (по Виноградову А.П.) в почвах, мг/кг		20	40	50	850	200	0,50	10	8	2	5

## 2. Медиана содержания микроэлементов в слое почвы 0–20 см, мг/кг

Почва	Cu	Ni	Zn	Mn	Cr	Cd	Pb	Co	Mo	As
Аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная супесчаная	6,70	9,19	22,96	566,97	103,93	0,07	3,11	0,39	0,01	0,32
<b>Кларк концентрация (КК)</b>	<b>0,33</b>	<b>0,23</b>	<b>0,46</b>	<b>0,67</b>	<b>0,52</b>	<b>0,14</b>	<b>0,31</b>	<b>0,05</b>	<b>0,003</b>	<b>0,06</b>
Аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная легкосуглинистая	12,63	14,48	31,08	614,23	136,14	0,19	5,56	0,70	0,02	0,67
<b>Кларк концентрация (КК)</b>	<b>0,63</b>	<b>0,36</b>	<b>0,62</b>	<b>0,72</b>	<b>0,68</b>	<b>0,38</b>	<b>0,56</b>	<b>0,09</b>	<b>0,01</b>	<b>0,13</b>
Аллювиальная перегнойно-болотная среднесуглинистая	22,03	21,04	54,23	524,61	197,47	0,41	6,39	0,75	0,11	1,14
<b>Кларк концентрация (КК)</b>	<b>1,10</b>	<b>0,53</b>	<b>1,08</b>	<b>0,62</b>	<b>0,99</b>	<b>0,81</b>	<b>0,64</b>	<b>0,09</b>	<b>0,05</b>	<b>0,23</b>

притеррасной пойменной подсистемы, что может объясняться отличием водного режима и окислительно-восстановительных условий данной почвы от других частей поймы и, как следствие, варьирование горизонтальной подвижности марганца в ландшафте в целом.

Рассматривая горизонтальное распределение микроэлементов в подсистемах пойменного ландшафта, установлена следующая закономерность: Кларк концентрации микроэлементов возрастает от прирусловой к притеррасной части поймы. Полученные данные согласуются с другими аналогичными исследованиями [23].

При построении геохимического индекса в ассоциацию накапливающихся элементов относят элементы с относительной концентрацией  $> 1$ , в группу рассеивающихся – с относительной концентрацией  $< 1$ . Насколько меньше и насколько больше 1 решают в зависимости от выраженности региональной геохимической дифференциации по изучаемым элементам [21].

Результаты исследования позволяют отобразить обеспеченность аллювиальных почв пойменного ландшафта р. Унеча микроэлементами посредством геохимических индексов.

Геохимический индекс аллювиальной дерновой кислой слоистой примитивной укороченной супесчаной почвы:

Mo 0,003, Co 0,05, As 0,06, Cd 0,14, Ni 0,23, Pb 0,31, Cu 0,33, Zn 0,46, Cr 0,52, Mn 0,67

Геохимический индекс аллювиальной луговой кислой маломощной укороченной легкосуглинистой почвы:

Mo 0,01, Co 0,09, As 0,13, Ni 0,36, Cd 0,38, Pb 0,56, Zn 0,62, Cu 0,63, Cr 0,68 Mn 0,72

Геохимический индекс аллювиальной перегнойно-болотной среднесуглинистой почвы:

Cr 0,99, Zn 1,08, Cu 1,10, Mo 0,05, Co 0,09, As 0,23, Ni 0,53, Mn 0,62, Pb 0,64, Cd 0,81

Все рассматриваемые микроэлементы в аллювиальной почве прирусловой подсистемы пойменного ландшафта реки Унеча по величине Кларка концентрации находятся в группе рассеивающихся. Это хорошо согласуется как с примитивностью строения профиля почвы прирусловой поймы, так и с легким ее гранулометрическим составом. Аналогичные результаты получены для аллювиальной почвы центральной подсистемы поймы. В почве притеррасной части поймы содержание хрома, цинка и меди находятся на уровне кларковых содержаний (КК 0,99–1,10), остальные микроэлементы рассеивающиеся.

В целом валовое содержание микроэлементов в почвах хозяйственно ценной части рассматриваемого пойменного ландшафта ниже кларковых содержаний в почвах мира (табл. 2).

Коэффициенты корреляции между агрохимическими показателями почвенного плодородия и валовым содержанием микроэлементов представлены в таблице 3.

3. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена ( $n = 12$ ) валового содержания микроэлементов и показателей почвенного плодородия

Агрохимический показатель	Микроэлемент									
	Cu	N	Zn	Mn	Cr	Cd	Pb	Co	Mo	As
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	-0,18	0,25	-0,17	-0,19	-0,45	-0,28	<b>-0,66</b>	<b>-0,65</b>	-0,53	-0,50
K <sub>2</sub> O, мг/кг	<b>0,67</b>	0,55	<b>0,63</b>	-0,13	0,42	0,41	0,29	0,16	0,00	0,32
Ca(обм.), ммоль/100 г	<b>0,88</b>	0,54	<b>0,81</b>	-0,09	0,57	<b>0,75</b>	<b>0,71</b>	0,55	0,30	0,48
Mg(обм.), ммоль/100 г	0,55	0,29	0,48	0,18	<b>0,60</b>	<b>0,49</b>	<b>0,58</b>	0,43	0,31	0,30
pH <sub>KCl</sub>	<b>-0,72</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,59</b>	0,17	-0,39	<b>-0,64</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,64</b>	-0,51	<b>-0,71</b>
C <sub>общ.</sub> , %	<b>0,86</b>	0,50	<b>0,85</b>	-0,15	<b>0,62</b>	<b>0,59</b>	<b>0,61</b>	0,50	0,32	0,52

\* Статистически значимые величины коэффициента корреляции при заданных  $n$  выделены курсивом.

Данные таблицы 3 показывают значимую положительную корреляционную связь между содержанием органического вещества и валовым содержанием микроэлементов (Cu, Zn, Cr, Cd, Pb); а также значимую положительную корреляционную связь между содержанием обменного кальция и валовым содержанием микроэлементов (Cu, Zn, Cd, Pb) и значимую положительную корреляционную связь между содержанием обменного магния и валовым содержанием микроэлементов (Cr, Pb).

Электроположительно заряженные элементы могут притягиваться к отрицательно заряженной поверхности органического вещества, глинистых частиц и оксидов Fe и Al, которые определяют катионообменную емкость. Поэтому высокая емкость катионного обмена (ЕКО) снижает подвижность и доступность металла и увеличивает удерживание катионов металлов. Как следствие, появление значимых корреляционных связей между ЕКО, органическим веществом и содержанием металлов в пойменных почвах [27, 28].

Менее выражены данные закономерности в исследуемых почвах для никеля и кобальта, однако химические особенности данных элементов позволяют предполагать аналогичную связь между их валовым содержанием, ЕКО и  $C_{\text{общ.}}$ .

Установлена отрицательная значимая корреляционная связь между  $pH_{\text{КС}}$  и валовым содержанием микроэлементов (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb, Co, As)

Известно, что в условиях кислой и слабокислой реакции среды органическое вещество может закреплять медь в виде труднорастворимых соединений [29]. Другие поливалентные катионы взаимодействуют схожим образом. Для марганца, молибдена и мышьяка значимых корреляционных связей с показателями плодородия не установлено. Для мышьяка показана значимая отрицательная корреляция с  $pH_{\text{КС}}$ . Вероятно это связано с отличными от других микроэлементов механизмами их внутрипрофильного распределения. Значимые коэффициенты корреляции между содержанием микроэлементов, обменным калием и подвижным фосфором

единичны, и видимо носят опосредованный характер.

Различные свойства почвы ( $pH_{\text{КС}}$ ,  $C_{\text{общ.}}$ , ЕКО, грансостав) участвуют в процессах почвообразования, включая удержание или поглощение микроэлементов, в частности, через органические вещества и илистые частицы. Кроме того, металлические элементы могут выщелачиваться в более глубокие горизонты профиля, особенно в кислых почвах [30].

Кислотность почвы считается одним из важнейших факторов, определяющих концентрацию металлов в почвенном растворе, их подвижность и доступность для растений. Увеличение концентрации ионов водорода влияет на интенсивность мобилизации тяжелых металлов. В сильнокислых почвах подвижность металлических элементов намного выше, чем в почвах с нейтральной и щелочной реакцией [31, 32]. Как и уровень pH, содержание органического углерода и илистые частицы в разной степени участвуют в удерживании или ремобилизации микроэлементов, содержащихся в аллювиальных почвах, и частично объясняют характер распределения данных элементов в профиле и отмеченные корреляционные связи.

*Таким образом, использование ландшафта пойм должно основываться на знании геохимических индексов аллювиальных почв подсистем, чтобы четко осознавать дифференциацию почвенного покрова пойменного ландшафта по содержанию микроэлементов. Особенности вертикального и горизонтального распределения микроэлементов в почвах пойменных ландшафтов обусловлены уровнем кислотности, содержанием органического углерода и гранулометрическим составом, которые участвуют в перераспределении микроэлементов, содержащихся в аллювиальных почвах. Исследования подтверждают мысль об относительно низком содержании большинства микроэлементов в почвах естественных пойменных кормовых угодий.*

#### Литература

1. Фашевский Б.В. Экологическое значение поймы в речных экосистемах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2007, № 5. – С. 118-129.
2. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland) // Open Geosciences, 2020, V. 12, № 1. – P. 1036-1051.
3. Мартынов А.В. Содержание подвижных форм микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур и влияние на них паводка 2013 года // Вестник ВГУ, серия: География. Геоэкология, 2019, № 2. – С. 32-39.
4. Dobrowol'ski G.V., Balabko P.N., Stasjuk N.V., Bykova E.P. Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences // Arid Ecosystems, 2011, V. 1, № 3. – P. 119-124.
5. Балабко П.Н., Снег А.А., Локалина Т.В., Щедрин В.Н. Почвы мелиорированной поймы верхнего течения реки Оки, используемые в интенсивном земледелии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2016, № 3. – С. 116-137.
6. Орешкин В.Н., Ульяночкина Т.И., Кузьменкова В.С., Балабко П.Н. Свинец в марганцовисто-железистых конкрециях различного размера из аллювиальных почв и отложений // Геохимия, 2000, № 6. – С. 680-684.

7. Просянкин Д.Е., Балабко П.Н., Просянкин Е.В., Чекин Г.В. Современное состояние экосистемы правобережной поймы средней Десны и перспективы ее рационального использования // *Агрохимический вестник*, 2012, № 5. – С. 9-13.
8. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. – М.: МГУ, 2005. – 289 с.
9. Битюцкий Н.П. Необходимые микроэлементы растений. – СПб.: ДЕАН, 2005. – 256 с.
10. Голов В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – 316 с.
11. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
12. Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. – М.: Наука, 1981. – 182 с.
13. Шаповалов В.Ф., Плющиков В.Г., Белоус Н.М., Курганов А.А. Разработка комплекса мероприятий по коренному улучшению естественных кормовых угодий, загрязненных радионуклидом цезий-137 // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*, 2014, №1. – С. 13-20.
14. Белоус Н.М. Развитие радиоактивно загрязненных территорий брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // *Вестник Брянской ГСХА*, 2018, № 1. – С. 3-11.
15. Бокатуро Н.Н., Справцев А.А., Асташина А.А., Поцепай С.Н., Шаповалов В.Ф. Эффективность комплекса защитных мероприятий при возделывании многолетних трав на радиоактивно загрязненных пойменных лугах // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*, 2020, Т. 15, № 2. – С. 159-172.
16. Пакшина С.М., Шаповалов В.Ф., Чесалин С.Ф., Смольский Е.В., Коренев В.Б. Биовынос <sup>137</sup>Cs из почвы многолетними мятликовыми травами в связи с минеральным питанием и доступностью почвенной влаги // *Сельскохозяйственная биология*, 2019, Т. 54, № 4. – С. 832-841.
17. Белоус Н.М., Белоус И.Н., Бельченко С.А., Дубенок Н.Н., Драганская М.Г., Захаров В.А., Кононова Н.Г., Ильинский А.В., Коршунова О.А., Корнеев В.Б., Мажайский Ю.А., Морозов А.Е., Прудников П.В., Талызин В.В., Томин Ю.А., Туровец В.М., Шаповалов В.Ф., Богдевич И.М., Жученко Ю.М., Персикова Т.Ф., Подоляк А.Г., Фирсакова С.К., Царева М.В., Пристер Б.С., Надточий П.П., Морозов В.В., Ушкаренко В.А., Малеев В.А., Морозов А.В., Сафонова Е.П. Современные проблемы радиологии в сельскохозяйственном производстве / под общ. ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: Рязанский ГАТУ им. П.А. Костычева, 2010. – 362 с.
18. Адыев С.Б., Веневцев В.З., Волчкова Т.Л. и др. Нейтрализация загрязненных почв. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 528 с. ISBN 9785902446170.
19. Белоус Н.М., Белоус И.Н., Драганская М.Г., Шаповалов В.Ф., Коренев В.Б., Талызин В.В., Бельченко С.А., Прудников П.В., Дубенок Н.Н., Захаров В.А., Кононова Н.Г., Ильинский А.В., Воронцова О.А., Мажайский Ю.А., Морозов А.Е., Томин Ю.А., Туровец В.М., Богдевич И.М., Жученко Ю.А., Персикова Т.Ф., Подоляк А.Г., Фирсакова С.К., Царева М.В., Пристер Б.С., Надточий П.П., Морозов В.В., Ушкаренко В.А. Малеева В.А., Морозов А.В., Сафонова Е.П. Мониторинг радиологического состояния агроэкосистем и их реабилитация в Брянской области. – Москва-Рязань: Рязанский ГАТУ им. П.А. Костычева, 2010. – 362 с. ISBN 9785986600482.
20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
21. Прохорова Н.В. Ландшафтный подход в региональных эколого-геохимических исследованиях // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 2004, Т. 6, № 2. – С. 259-265.
22. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья // *Почвоведение*, 2004, № 1. – С. 50-59.
23. Шиманская А.А., Позняк С.С. Профильное распределение меди, цинка и свинца в пойменных почвах мозырского полесья // *Экологический вестник*, 2016, № 1. – С. 118-123.
24. Hooda P. Trace Elements in Soils. First ed. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010. – 596 p.
25. Sabry M. Shaheen, Jörg Rinklebe, Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the Central Elbe River, Germany // *Geoderma*, 2014, Vol. 228-229. – P. 142-159.
26. Teixeira R.B., Costa N.D., Nilton C., Guimarães G.L.R., de Souza C.E.T., Guilherme L., João Paulo C. Assessment of Trace Element Contents in Soils and Water from Cerrado Wetlands, Triângulo Mineiro Region // *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2019, № 43. – P. e0180059.
27. Du Laing G., De Grauwe P., Moors W., Vandecasteele B., Lesage E., Meers E., Tack F.M.G., Verloo M.G. Factors affecting metal concentrations in the upper sediment layer of intertidal reedbeds along the river Scheldt // *Journal of Environmental Monitoring*, 2007, № 9. – P. 449-455.
28. Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tack F.M.G. Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review // *Science of The Total Environment*, 2009, V. 407, I. 13. – P. 3972-3985.
29. Кудашкин М.И. Медь и эффективность медьсодержащих удобрений в дерново-подзолистых и пойменных почвах // *Агрохимия*, 2003, № 7. – С. 11-18.
30. Saint-Laurent D., Gervais-Beaulac V., Baril F., Matteau C., Berthelot J-S. Spatial Variability of Heavy Metal Contamination in Alluvial Soils in Relation to Flood Risk Zones in Southern Québec, Canada // *Air, Soil and Water Research*. January 2013. doi: 10.4137/ASWR.S10314.
31. Fijałkowski K., Kacprzak M., Grobelak A., Placek A. The influence of selected soil parameters on the mobility of heavy metals in soil. *Inżynieria i Ochrona Środowiska // Engineering and Protection of Environment*, 2012, Vol. 15. – P. 81-92.
32. Yanhao Z., Haohan Z., Zhibin Z., Chengying L., Cuizhen S., Wen Z., Taha M. pH Effect on Heavy Metal Release from a Polluted Sediment // *Journal of Chemistry*, 2018, vol. 2018, Article ID 7597640, 7 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/7597640>.