

УДК 631.62 (571.621)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЙМЕННЫХ ПОЧВ РАЙОНОВ ПРОВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ)

В. А. Зубарев

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,  
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,  
e-mail: zubarev\_1986@mail.ru

*Проведен анализ изменения концентраций валовых форм тяжелых металлов и рассчитаны суммарные коэффициенты загрязнения пойменных почв, подверженных влиянию сельскохозяйственной осушительной мелиорации на территории ЕАО в 2009–2010 гг.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, осушительная мелиорация, пойменные почвы.

Почвы речных долин представляют интерес для сельскохозяйственного назначения [4], поэтому изучение их химического состава и процессов аккумуляции различных веществ позволяет решать экологические проблемы, связанные с антропогенным загрязнением речного бассейна, выявлением причин изменения плодородия почв, определением их качества [14].

В настоящее время в отдельных регионах РФ (Смоленская, Брянская, Орловская, Тверская, Калужская, Тульская, Московская, Рязанская, Ярославская, Владимирская, Костромская, Ивановская, Амурская области, Хабаровский, Пермский, Приморский края) изучалось влияние мелиорационных работ на изменение гидрологического режима [5, 13], физических свойств почв [10], их химического (например, содержание гумуса, тяжелых металлов, изменение анионного состава) [6] и биологического состава. Все эти работы проведены в районах, отличающихся своими экологическими, природно-климатическими, почвенными условиями и плотностью мелиоративных систем. Такие исследования важны для всех территорий, где проводятся осушительные мелиорационные работы, например в Еврейской автономной области (ЕАО), где 15 % автономии занято сельскохозяйственными угодьями, расположенными в пониженных формах рельефа, в основном на переувлажненных почвах Средне-Амурской низменности. Еще в 1925 г. Биробиджанская экспедиция Биробиджанского переселенческого отряда пришла к выводу, что большинство заболоченных пространств может быть использовано для земледельческих целей только путем производства на них осушительных мелиораций. Если в первые годы земель, пригодных для сельскохозяйственной обработки, было достаточно, то по мере освоения территории их становилось меньше, и в начале девяностых годов XX века в связи с распаиванием переувлажненных территорий впервые встал вопрос об осушении заболоченных земель [3] для ликвидации избыточного увлажнения во второй половине лета и осенью и поддержания уровня грунтовых вод на оптимальной глубине для развития сельскохозяйственных культур [7]. Большинство почв на юге Дальнего Востока отличается маломощным гумусовым гори-

зонтом, тяжелым механическим составом и отрицательными с позиции мелиорации водно-физическими свойствами [9]; они являются экологически неустойчивыми. При длительном сельскохозяйственном использовании происходит трансформация почв, которые становятся менее плодородными. Поэтому исследование мелиорируемых земель является актуальной задачей их охраны и дальнейшего использования.

Цель данной работы – исследование химического состава пойменных почв, подверженных влиянию сельскохозяйственной осушительной мелиорации (на примере территории ЕАО).

Район исследований располагается в южной части автономии. Объектом являются пойменно-руслевые комплексы малых водотоков (рис. 1) – Ульдура, Грязнушка, Вертопрашиха, Солонечная, Осиновка.

Для изучения влияния осушительной мелиорации на состояние пойменных почв полевые исследования проводились в 2009–2010 г. в различных погодных условиях весенне-летнего периода. Все исследуемые поймы подвергаются периодическому затоплению, но в 2010 г. из-за обильного количества осадков изучаемые точки были затоплены весь летний сезон.

Отбор проб проводился из поверхностного почвенного горизонта до и после сброса дренажных вод. На рис. 2 они обозначены как фоновые ( $C_b^1$   $C_o^1$ ) и исследуемые ( $C_b^2$  и  $C_o^2$ ) образцы весеннего (в), осеннего (о) периодов.

Из группы тяжелых металлов (ТМ) выбраны железо (Fe), марганец (Mn) – типичные природные поллютанты для Буреинской ландшафтно-геохимической провинции, никель (Ni), медь (Cu), свинец (Pb), цинк (Zn), кадмий (Cd) и кобальт (Co) как характерные природно-антропогенные загрязнители данной территории. В каждом образце определялось валовое содержание ТМ, поскольку оно дает представление о степени техногенного загрязнения и позволяет производить расчет суммарного показателя загрязнения почв [1], оценивать контрастность и емкость геохимических барьеров [11], определить величину различных геохимических модулей [12].

Валовое содержания ТМ определяли методом масс-



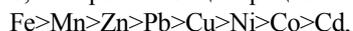
Содержание тяжелых металлов в пойменных почвах в точках,  
не подверженные влиянию мелиорационных работ, мг/кг

Водотоки	Год	Fe*10 <sup>-3</sup>	Mn*10 <sup>-1</sup>	Zn	Pb	Cu	Ni	Co	Cd
Ульдура	2009	<u>40,42</u> 44,31	<u>92,24</u> 106,62	<u>120,63</u> 146,60	<u>22,46</u> 28,31	<u>21,22</u> 44,32	<u>19,81</u> 21,72	<u>12,65</u> 14,13	<u>0,14</u> 0,16
	2010	<u>61,61</u> 67,88	<u>145,00</u> 146,34	<u>99,69</u> 77,90	<u>23,08</u> 25,44	<u>20,66</u> 20,35	<u>19,17</u> 19,81	<u>23,05</u> 14,41	<u>0,21</u> 0,16
Грязнушка	2009	<u>32,81</u> 26,60	<u>61,82</u> 31,81	<u>68,77</u> 74,72	<u>22,40</u> 21,87	<u>15,98</u> 21,35	<u>20,62</u> 18,21	<u>8,61</u> 7,56	<u>0,12</u> 0,31
	2010	<u>32,55</u> 43,70	<u>71,82</u> 58,99	<u>103,34</u> 78,79	<u>21,80</u> 26,21	<u>15,07</u> 24,53	<u>23,53</u> 20,72	<u>8,72</u> 10,07	<u>0,12</u> 0,11
Солонечная	2009	<u>34,27</u> 19,69	<u>115,89</u> 35,40	<u>87,80</u> 69,28	<u>24,14</u> 21,97	<u>23,33</u> 16,14	<u>21,34</u> 12,83	<u>10,85</u> 6,14	<u>0,12</u> 0,13
	2010	<u>36,18</u> 43,10	<u>57,98</u> 48,37	<u>85,18</u> 57,03	<u>24,34</u> 22,61	<u>20,56</u> 16,39	<u>26,64</u> 20,73	<u>10,69</u> 8,81	<u>0,79</u> 0,34
Вертопрашиха	2009	<u>23,08</u> 27,80	<u>53,44</u> 47,76	<u>89,14</u> 75,84	<u>32,73</u> 27,02	<u>16,57</u> 15,01	<u>11,38</u> 15,34	<u>7,61</u> 7,91	<u>0,15</u> 0,10
	2010	<u>22,06</u> 34,90	<u>41,53</u> 44,16	<u>89,40</u> 74,81	<u>30,59</u> 29,30	<u>13,46</u> 16,49	<u>10,63</u> 17,29	<u>7,42</u> 6,96	<u>0,11</u> 0,08
Осиновка	2009	<u>8,14</u> 22,53	<u>15,79</u> 34,31	<u>41,28</u> 72,83	<u>34,45</u> 29,75	<u>5,54</u> 16,04	<u>4,12</u> 11,97	<u>2,96</u> 6,58	<u>0,06</u> 0,08
	2010	<u>32,09</u> 34,31	<u>40,39</u> 33,11	<u>97,07</u> 32,62	<u>24,71</u> 21,36	<u>21,01</u> 11,60	<u>20,25</u> 14,71	<u>9,70</u> 5,96	<u>0,15</u> 0,03

**Примечание:** C<sub>в</sub><sup>1</sup> – числитель (весеннего отбора проб), C<sub>о</sub><sup>1</sup> – знаменатель (осеннего отбора проб)

В осенний период 2010 г. (по сравнению с осенним 2009 г.) в р. Ульдура наблюдается увеличение Fe и Mn в 1,5, Co и Cd в 1,1 раза и снижение Zn, Pb, Cu, Ni в 0,5 раза; в р. Грязнушка – понижение Cd в 0,3 и увеличение других ТМ в 1,5 раза; в р. Солонечной накапливаются Fe, Cd (в 2,5), Mn, Ni, Co в 1,5, Zn, Pb, Cu в 1,2 раза; в р. Вертопрашиха концентрация всех ТМ увеличивается примерно в 1,2 раза; в р. Осиновка содержание Fe увеличивается в 1,5, а остальных поллютантов снижается в 0,5 раза.

Таким образом, в антропогенно не измененных почвах содержание природных поллютантов на несколько порядков выше, чем природно-антропогенных, следовательно можно, выстроить концентрационный ряд:



и для использования их в качестве фоновых необходимо синхронизировать время отбора данных исследуемых проб.

В пойменных почвах, подверженных влиянию мелиорации, сохраняется тот же ряд ТМ содержания (табл. 2).

Так, в весенний период 2009 г. наибольшая концентрация обнаружена в поймах рек: Fe (40740 мг/кг), Cu (25,8 мг/кг) – р. Ульдура; Mn (536,0 мг/кг) – р. Осиновка; Zn (76,6 мг/кг) – р. Вертопрашиха; Pb (26,8 мг/кг) и Cd (0,1 мг/кг) – р. Солонечная; Ni (25,1 мг/кг) и Co (12,5 мг/кг) – р. Грязнушка.

К осени 2009 г., т.е. за летний период, происходит увеличение содержания ТМ практически во всех пойменных почвах: в р. Ульдура концентрация Cd – 2,6, Mn, Zn – 1,5, Fe, Pb, Cu, Co накапливается в 1,2, Ni уменьшается в 0,9 раза; в р. Грязнушка увеличивается Cd, Mn 1,5, Zn, Cu в 1,2; Fe, Pb, Ni, Co снижается примерно в 0,8 раза; в р. Солонечная и р. Вертопрашиха содержание всех ТМ

понижается в 0,9 раза; в р. Осиновка наблюдается увеличение Fe, Mn, Pb и Co в 1,2, Zn и Ni в 1,4, Cu – 2,7 и снижение Cd в 0,5 раза.

В весенний период 2010 г. (по сравнению с тем же периодом 2009 г.) в поймах р. Ульдура увеличивается содержание Cd в 5,5, Mn в 2, Fe, Zn, Co в 1,2 раза, а Pb, Cu, Ni в 0,7 раза сокращается; в р. Грязнушка Fe, Mn, Zn, Pb, Co, Cd в 1,4 накапливаются и Cu, Ni в 0,8 раза понижается; в р. Солонечная поллютантов уменьшается примерно в 0,7 раза; в р. Вертопрашиха происходит увеличение всех ТМ в 1,2 раза; в р. Осиновка Cd в 3,5, Cu и Ni в 2,5, Fe в 1,5, Zn, Pb и Co в 1,2 и снижение Mn в 0,5 раза.

В осенний период 2010 г. (по сравнению с осенним 2009 г.) в р. Ульдура и р. Грязнушка наблюдается снижение концентрации всех поллютантов примерно в 0,7 раза; в р. Грязнушка уменьшение содержания Cd в 0,3 и увеличение других ТМ в 1,5 раза; в р. Солонечной накопление Fe в 1,5, Cu и Cd в 1,1 раза, Mn, Zn, Pb, Ni, Co снижение в 0,6 раза; в р. Вертопрашиха повышение практически всех ТМ примерно в 1,1 раза и понижение Cu и Co в 0,5 раза; в р. Осиновка сокращение всех поллютантов в 0,5 раза.

Для количественной характеристики процессов изменения концентрации ТМ в весеннее – осенний период использованы индексы загрязнения почв (ИЗП) [2]:

$$ИЗП = (C_o^1 - C_v^1) / C_v^1,$$

(1)

для антропогенно не измененных точек;

$$ИЗП = (C_o^2 - C_v^2) / C_v^2,$$

(2)

для образцов в районах проведения мелиорационных работ.

Содержание тяжелых металлов в пойменных почвах, подверженных влиянию мелиорационных работ, мг/кг

Водотоки	Год	Fe*10 <sup>-3</sup>	Mn*10 <sup>-1</sup>	Zn	Pb	Cu	Ni	Co	Cd
Ульдура	2009	<u>40,74</u> 46,78	<u>49,05</u> 73,87	<u>70,88</u> 106,11	<u>25,07</u> 26,26	<u>25,79</u> 33,10	<u>22,66</u> 22,37	<u>11,40</u> 12,86	<u>0,08</u> 0,21
	2010	<u>41,71</u> 41,54	<u>88,47</u> 70,60	<u>85,42</u> 76,35	<u>21,34</u> 23,99	<u>20,13</u> 16,92	<u>18,47</u> 18,58	<u>12,82</u> 10,72	<u>0,44</u> 0,08
Грязнушка	2009	<u>40,02</u> 37,24	<u>47,26</u> 62,05	<u>74,76</u> 77,29	<u>25,75</u> 22,96	<u>22,12</u> 26,70	<u>25,14</u> 21,01	<u>12,52</u> 11,74	<u>0,08</u> 0,12
	2010	<u>41,02</u> 32,65	<u>58,62</u> 49,16	<u>89,67</u> 62,02	<u>26,63</u> 23,11	<u>21,35</u> 18,36	<u>24,66</u> 24,09	<u>13,44</u> 8,53	<u>0,12</u> 0,08
Солонечная	2009	<u>29,91</u> 24,86	<u>38,15</u> 33,98	<u>70,79</u> 65,72	<u>26,89</u> 25,08	<u>14,21</u> 13,66	<u>17,52</u> 15,99	<u>8,16</u> 7,61	<u>0,10</u> 0,11
	2010	<u>27,78</u> 35,79	<u>23,51</u> 30,31	<u>58,65</u> 48,19	<u>23,70</u> 17,25	<u>11,58</u> 14,80	<u>9,38</u> 13,17	<u>5,36</u> 7,45	<u>0,08</u> 0,12
Вертопрашиха	2009	<u>28,53</u> 28,04	<u>26,52</u> 30,33	<u>76,67</u> 91,40	<u>23,22</u> 21,35	<u>17,98</u> 21,09	<u>17,70</u> 17,07	<u>8,58</u> 8,45	<u>0,08</u> 0,06
	2010	<u>27,12</u> 32,28	<u>31,19</u> 29,35	<u>106,45</u> 94,11	<u>21,64</u> 22,06	<u>18,88</u> 10,54	<u>17,68</u> 19,05	<u>7,69</u> 5,28	<u>0,10</u> 0,06
Осиновка	2009	<u>25,77</u> 30,45	<u>53,60</u> 61,12	<u>67,81</u> 91,68	<u>25,13</u> 25,99	<u>8,35</u> 22,24	<u>10,64</u> 15,59	<u>8,02</u> 9,86	<u>0,10</u> 0,06
	2010	<u>43,32</u> 23,31	<u>21,77</u> 25,64	<u>71,43</u> 12,90	<u>25,31</u> 15,96	<u>21,08</u> 12,35	<u>21,27</u> 14,66	<u>9,13</u> 5,22	<u>0,34</u> 0,04

*Примечание:* C<sub>в</sub><sup>2</sup> – числитель (весеннего отбора проб), C<sub>о</sub><sup>2</sup> – знаменатель (осеннего отбора проб)

В уравнениях 1 и 2 в качестве фона для каждой поймы использована почва, отобранная в весенний период (C<sub>в</sub><sup>1</sup> и C<sub>в</sub><sup>2</sup>), что позволяет проводить сравнение природно- и природно-антропогенно обусловленных процессов транзита – аккумуляции ТМ.

Индекс загрязнения количественно характеризует процессы увеличения или уменьшения кумуляции ТМ в пойменных почвах, например, если ИЗП характеризуется положительными значениями, то происходит накопление, а если отрицательные – уменьшение концентраций.

Как видно из рис. 3, индекс загрязнения пойменных почв за сельскохозяйственный сезон в фоновых точках различный. Например, в 2009 г. наибольшие значения ИЗП – больше 1 – найдены в р. Ульдура (для Cu), в р. Грязнушка (для Cd) и Осиновка (для Fe, Mn, Cu, Ni, Co), а наименьшие значения – в р. Солонечной (для Fe, Mn и Co) и р. Грязнушка (для Mn). В 2010 г. ИЗП характеризуется в основном отрицательными значениями, например, в поймах рек Солонечная и Осиновка наблюдается понижение содержания всех ТМ, кроме Fe и Cu в р. Грязнушка и Fe и Ni в р. Вертопрашиха, что составляет примерно 0,5.

В пойменных почвах, подверженных влиянию мелиорации, наблюдается другое распределение изменения ИЗП (рис. 4). Наибольшие положительные значения ИЗП в 2009 г. найдены для Cd в р. Ульдура и Cu в р. Осиновка – 1,6, а значения ИЗП для остальных поллютантов в

различных водотоках примерно одинаковы и равны 0,5. Отрицательные значения ИЗП в основном не превышают – 0,5. В 2010 г. практически все пойменные почвы водотоков имеют отрицательный ИЗП, кроме почв р. Солонечная.

Для анализа полиэлементного техногенного воздействия рассчитан суммарный коэффициент загрязнения для фоновых Z<sub>ст.ф.</sub> и исследуемых Z<sub>ст.и.</sub> почв (табл. 3):

$$Z_{ст.ф.} = \sum(K_c * K_T) - (n-1), \quad (3)$$

для антропогенно не измененных образцов, где: K<sub>с</sub> – коэффициент загрязнения почв; K<sub>с</sub> = C<sub>о</sub><sup>1</sup>/C<sub>в</sub><sup>1</sup>;

$$Z_{ст.и.} = \sum(K_c * K_T) - (n-1), \quad (4)$$

для образцов в районах проведения мелиорационных работ; K<sub>с</sub> = C<sub>о</sub><sup>2</sup>/C<sub>в</sub><sup>2</sup>;

K<sub>т</sub> – индекс класса опасности поллютантов, равный 1,5 для элементов первого (Zn, Pb, Cd), 1 – для второго (Co, Ni, Cu, Fe), и 0,5 – для третьего (Mn) класса опасности, n – количество ТМ [1].

Как видно из данных, приведенных в табл. 3, суммарные коэффициенты загрязнения почв зависят от типов почв и метеорологических условий весенне-летнего периода.

В 2009 г. в фоновых точках суммарные коэффициенты загрязнения почв ниже, чем в исследуемых, кроме р. Осиновка. Это, вероятно, связано с тем, что в этом году выпало небольшое количество осадков, и в фоновых точ-

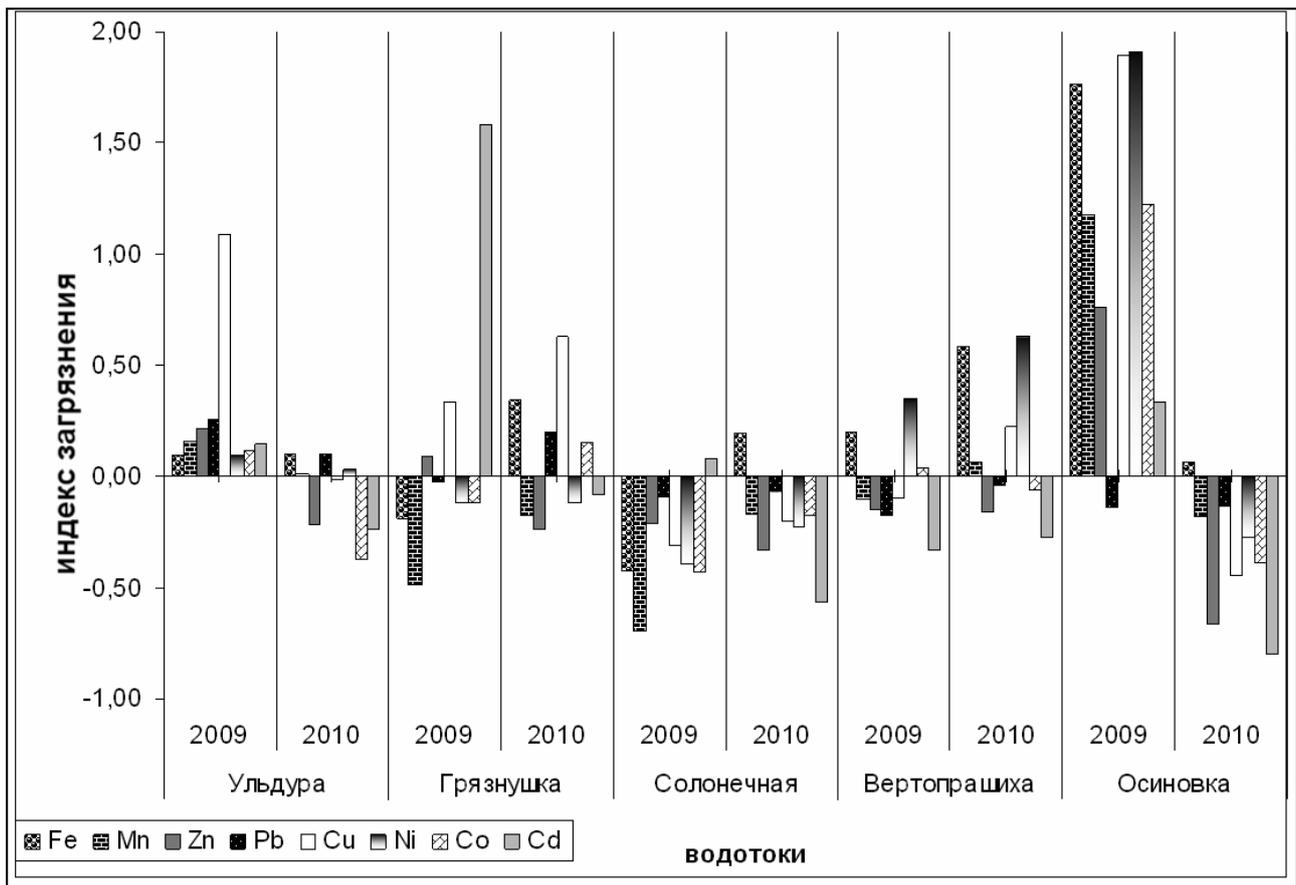


Рис. 3. Индекс загрязнения тяжелыми металлами почв, не подверженных влиянию мелиорационных работ

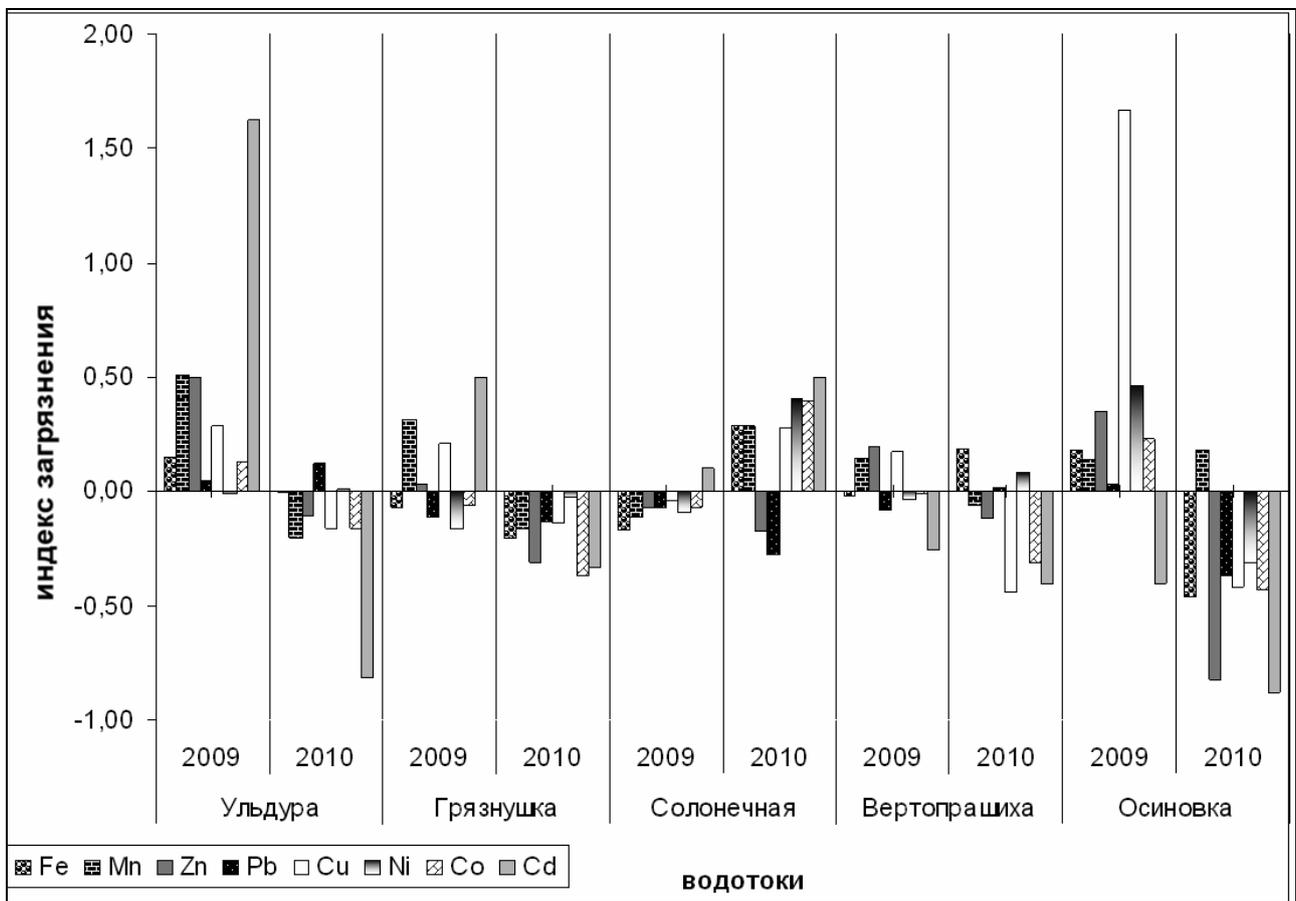


Рис. 4. Индекс загрязнения тяжелыми металлами почв, подверженных влиянию мелиорационных работ

Суммарный коэффициент загрязнения пойменных почв

Водотоки	Суммарный коэффициент загрязнения				Типы почв [8]
	$Z_{ст.ф.}$	$Z_{ст.и}$	$Z_{ст.ф.}$	$Z_{ст.и}$	
	2009 г.		2010 г.		
Ульдура	2,80	5,58	0,66	-0,02	подзолисто-буроземные глинистые и суглинистые
Грязнушка	2,81	3,21	2,02	-0,29	
Солонечная	0,51	2,16	0,55	3,05	лугово-глинистые
Вертопрашиха	0,86	1,63	1,94	0,21	
Осиновка	5,32	4,18	-2,05	-2,85	лугово-болотные

как процессы аккумуляции-транзита ТМ проходили за счет природного механического поверхностного стока. В исследуемых почвах на этот процесс накладывается сток дренажных вод с мелиорируемых полей и наблюдаемое накопление ТМ в почвах может быть связано с разнообразными вторичными процессами в них, например, с изменением подвижности комплексов металлов, с вертикальным переносом из нижних горизонтов и т.д.

В 2010 г.  $Z_{ст.ф.}$  и  $Z_{ст.и}$  ниже, чем в 2009 г., кроме того,  $Z_{ст.ф.}$  выше, чем  $Z_{ст.и}$  во всех пробах, за исключением р. Солонечная, поскольку за летний период происходило обильное выпадение осадков, что привело к подъему уровня воды в реках и затоплению пойм, и следовательно, к увеличению смыва ТМ с почв и уменьшению их концентрации (табл. 3), кроме р. Солонечной, в которой высокие берега препятствуют затоплению поймы.

Возможно, накопление ТМ зависит и от типов почв. Так поймы р. Ульдура и Грязнушка относятся к подзолисто-буроземным глинистым и суглинистым, р. Вертопрашиха и Солонечная к лугово-глинистым, Осиновка к лугово-болотным почвам с глинистыми фракциями, в которых, вероятно, происходит аккумуляция ТМ, поступающих за счет механического стока поверхностных вод с полей.

Проведенные исследования показали, что на изменение химического состава исследуемых природных компонентов влияют типы почв, процессы механического горизонтального и вертикального стоков и погодные условия.

Из вышесказанного следует, что осушительная сельскохозяйственная мелиорация оказывает непосредственное воздействие на почвы, при этом оно может быть как положительное, так и отрицательное и проявляется в том, что в сельскохозяйственный сезон с малым количеством выпавших осадков тяжелые металлы в почвах, подверженных мелиорации, накапливаются, а в период с обильным выпадением осадков концентрации поллютантов снижаются.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Водяницкий Ю.Н. Изучение тяжелых металлов в почвах. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2005. 109 с.
2. Воронцов А.М. Обобщенные показатели состояния в системе индексов качества природных сред: проблемы и перспективы // Экологическая химия. 2004. Т. 14, № 1. С. 1–10.
3. Костенков Н. М., Ознобихин В.И. Почвы и почвенные ресурсы юга Дальнего Востока и их экологическое состояние // Почвоведение. 2006. № 5. С. 517–526.
4. Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига, 2002. 255 с.
5. Маслов Б.С., Нестеренко И.М. Изменение свойств торфяных почв под влиянием осушения и использования в центре и на севере России // Мелиорация и водное хозяйство. 2002. № 2. С. 23–26.
6. Муромцев Н.А., Шуравилин А.В. Изменение агрохимических свойств пойменных почв долины среднего течения реки Москвы при интенсивном их использовании // Агро XXI. 2006. № 4–6. С. 43–44.
7. Нежиховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 229 с.
8. Природные ресурсы Еврейской автономной области / В.И. Журнист, Р.М. Коган, Т.Е. Кодякова, Т.М. Комарова и др. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2004. 112 с.
9. Росликова В.И. Почвы Средне-Амурской низменности и их особенности агрогенных трансформаций // Вестник ТОГУ. 2009. № 2 (13). С. 95–102.
10. Слагада Р.Г. Изменение физических свойств и состава торфяных почв в процессе их сельскохозяйственного использования // Мелиорация переувлажненных земель. 2006. № 1 (53). С. 119–157.
11. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А., Селиванова Н.В. Эколого-геохимический анализ загрязнения ландшафтов. Владимир: ООО «Владимир Полиграф», 2007. 170 с.
12. Чертко Н.К. Геохимия: учеб. пособие. Минск: БГУ, 2008. 170 с.
13. Шишов А.Д., Балун О.В., Баютина Л.А. Изменение гидрологического режима почв под влиянием // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 2. С. 16–19.
14. Яблонских Л.А. Генезис и классификация почв пойм речных долин Среднерусского Черноземья // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География, геоэкология. 2001. № 1. С. 43–51.

*In the article it is analyzed changes in concentrations of heavy metals gross forms, calculated the total contamination coefficients of floodplain soils exposed to agricultural drainage reclamation in the territory JAR in 2009–2010.*

**Key words:** heavy metals, drainage improvement, flood-lands.