

ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНОГЕНЕЗА НА ПЕРЕНОС МЕТАЛЛОВ В РЕЧНЫХ ВОДАХ ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ

О. В. Лукашѐв

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; lukashev@bsu.by

На примере нескольких природных объектов рассмотрено влияние агротехногенеза на перенос металлов в речных водах во взвешенном состоянии.

Ключевые слова: металлы; взвеси; р. Березина; р. Птичь.

On the example of several natural objects, the influence of agrotechnogenesis on the transport of metals in river waters in a suspended state is considered.

Key words: metals; suspensions; Berezina River; river Ptich.

В целях изучения влияния агротехногенеза умеренной степени на перенос металлов в речных водах во взвесах были проведены пересмотр и сопоставление ранее полученных соответствующих данных по р. Березине и её притокам на территории Березинского биосферного заповедника и р. Птичь в районе агрогородка «Дараганово».

р. Березина и её притоки в Березинском биосферном заповеднике. О. В. Лукашѐвым и В. М. Натаровым [1] было проведено посезонное (апрель, август, февраль) опробование поверхностных вод Березинского биосферного заповедника в 9 стационарных пунктах наблюдений (рис. 1) с целью получения годовой картины изменения состава речной воды. Проб воды (100 л воды) и взвесей отбирались в следующих точках: 1. р. Березина у д. Березино; 2. Устье р. Красногубка (частично «болотная» река); 3. Устье р. Можанка (влияние Бегомльской мелиоративной системы); 4. р. Бузянка у моста на шоссе Минск-Витебск; 5. оз. Пострежское; 6. р. Березина у д. Броды; 7. р. Березина выше оз. Палик; 8. оз. Палик, центральная часть водоёма; 9. р. Смолянка («болотная» река)

Результаты, полученные для образцов взвесей весеннего (апрель), летнего (август) и зимнего (февраль) отборов воды, представлены в табл. 1. Имеющиеся данные позволяют констатировать следующее.

В *весенний период* (апрель) наблюдается постепенное снижение содержания взвешенных форм Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Yb, Pb на всём протяжении р. Березины (от д. Березино до оз. Палик) за счёт разбавления вод основной реки «болотными» водами. Снижение концентрации составляет для Be, Mn, Y, Zr, Nb, Yb 20,0–23,4 раза, для Ti, V, Co, Ni, Zn, Sr, Ba, Pb – 10,0–15,6 раза, для Cr, Fe, Cu – 2,3–9,6 раза. Содержание взвешенных форм перечисленных металлов в водах малых рек – по сравнению с р. Березиной – относительно низкое или сопоставимое.

В *летний период* (август) отмечается тенденция снижения содержания взвешенных форм всех (кроме Mn) изученных металлов в верховьях реки (проба 1) в n–10n раз при одновременном увеличении содержания большинства из них (кроме Cu и Pb) в n–10n раз в южной части заповедника на участке впадения реки в оз. Палик (проба 7). Изменение содержания взвешенных металлов в малых реках с их локальными водосборами не столь однозначно. Например, для р. Красногубки (частично «болотная» река) на фоне снижения содержания взвешенных форм Ti, V, Cr, Pb и стабильного содержания Cu, Y, Yb установлено увеличение концентрации всех прочих металлов. В р. Можанке (влияние Бегомльской мелиоративной системы) наблюдается снижение содержания взвешенных Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Sr, Ba, Pb, стабильное содержание Y, Nb, Yb, при увеличении содержания Zn и Zr. Третий вариант распределения микроэлементов наблюдается в р. Бузянке и т. д.

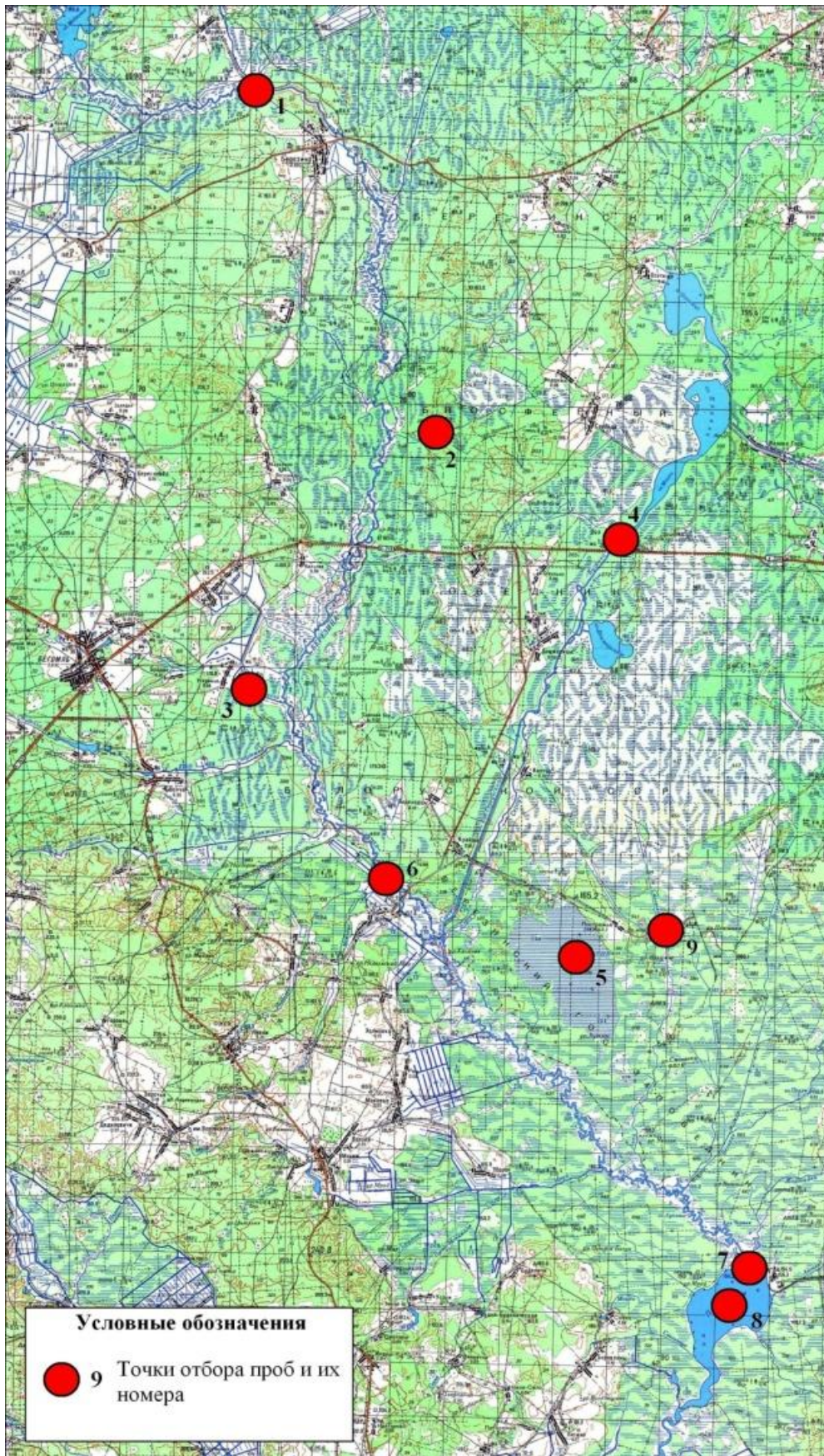


Рисунок 1 – Отбор взвесей на территории Березинского биосферного заповедника

Таблица 1 – Содержание микроэлементов во взвешенном состоянии в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника (апрель – 04, август – 08 и февраль – 02), мкг/дм³

Проба		Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
р. Березина										
1	04	0,0100	23,3	0,172	0,607	20,2	151,8	0,101	0,202	0,304
	08	0,0028	5,58	0,075	0,112	22,3	75,4	0,020	0,056	0,279
	02	0,0026	6,04	0,084	0,105	16,5	118,1	0,052	0,092	0,210
6	04	0,0034	9,08	0,101	0,168	4,71	87,4	0,034	0,067	0,118
	02	0,0051	10,6	0,202	0,455	35,4	429,3	0,091	0,202	0,505
7	04	0,0010	3,07	0,036	0,092	3,58	43,0	0,012	0,043	0,174
	08	–	6,11	0,175	0,109	39,3	231,3	0,065	0,096	0,131
	02	0,00059	1,00	0,025	0,034	8,82	35,3	0,012	0,025	0,071
оз. Палик										
8	04	0,0005	1,26	0,017	0,063	0,99	23,0	0,007	0,020	0,135
	08	–	2,35	0,055	0,039	5,09	47,0	0,020	0,051	0,039
	02	0,00011	0,289	0,0049	0,010	0,333	11,1	0,002	0,012	0,029
р. Красногубка										
2	04	0,0010	1,45	0,053	0,068	3,39	38,7	0,010	0,024	0,048
	08	–	0,751	0,038	0,023	14,1	56,3	0,047	0,075	0,047
	02	0,0015	1,36	0,091	0,076	11,3	68,0	0,034	0,026	0,076
р. Можанка										
3	04	0,0010	2,58	0,028	0,084	8,40	32,3	0,014	0,037	0,136
	08	0,0007	1,41	0,024	0,040	4,36	16,8	0,008	0,014	0,040
	02	0,0040	5,57	0,092	0,179	17,9	59,7	0,060	0,100	0,239
р. Бузянка										
4	04	0,0004	0,656	0,010	0,039	3,09	23,9	0,007	0,019	0,062
	08	–	2,09	0,052	0,035	13,1	78,4	0,017	0,031	0,096
	02	0,00018	1,24	0,0096	0,021	7,1	14,2	0,032	0,039	0,071
р. Смолянка										
9	02	–	0,024	0,00084	0,00072	0,12	2,1	–	0,0009	0,0012
оз. Пострежское										
5	04	0,0007	2,00	0,035	0,080	1,27	30,0	0,017	0,053	0,067
	02	0,0012	2,59	0,045	0,118	0,943	59,0	0,047	0,177	0,413
Проба		Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Ag	Va	Yb	Pb
р. Березина										
1	04	3,04	2,02	0,182	2,43	0,091	–	9,11	0,020	1,52
	08	1,12	0,838	0,056	0,642	0,028	–	1,40	0,006	0,084
	02	0,262	0,787	0,105	0,735	0,026	–	1,63	0,010	0,079
6	04	0,672	0,672	0,077	1,18	0,030	0,003	2,19	0,0084	0,202
	02	0,505	1,52	0,157	0,808	0,051	–	3,54	0,015	0,162
7	04	0,410	0,256	0,020	0,369	0,010	0,001	1,23	0,0020	0,164
	08	0,873	0,873	0,087	0,786	0,044	–	4,37	0,0087	0,131
	02	0,353	0,176	0,015	0,129	0,0059	–	0,412	0,0015	0,041
оз. Палик										
8	04	0,225	0,135	0,008	0,104	0,004	0,0005	0,585	0,0009	0,126
	08	<0,392	<0,392	0,039	0,509	0,039	–	0,979	0,0039	0,090
	02	0,666	0,0444	0,0036	0,0244	0,0018	–	0,144	0,00044	0,040
р. Красногубка										
2	04	0,121	0,145	0,019	0,0087	0,005	0,0005	0,315	0,0019	0,111
	08	0,751	0,281	0,019	0,131	0,009	–	0,610	0,0019	0,042
	02	0,227	0,378	0,038	0,121	0,007	–	0,378	0,0038	0,106
р. Можанка										
3	04	<0,129	0,226	0,019	0,129	0,008	0,0012	0,775	0,0019	0,026
	08	0,134	0,134	0,020	0,188	0,008	–	0,302	0,0020	0,023
	02	0,199	0,597	0,060	0,398	0,020	–	1,19	0,0060	0,080
р. Бузянка										
4	04	0,270	0,116	0,007	0,089	0,004	0,0006	0,386	0,0007	0,116
	08	0,697	0,348	0,035	0,436	0,017	–	1,045	0,0035	0,080
	02	0,355	0,124	0,0078	0,064	0,0028	–	0,220	0,00071	0,036
р. Смолянка										
9	02	0,006	0,006	0,00072	0,0051	0,00048	–	0,0186	0,00006	0,0015
оз. Пострежское										
5	04	0,226	0,200	0,017	0,246	0,007	0,0007	0,663	0,0017	0,133
	02	2,36	0,590	0,035	0,177	0,012	–	1,00	0,0035	0,236

Примечание. В золах взвесей не обнаружены Sc (чувствительность определения 5 мг/кг), Mo (3 мг/кг), Ge, W, Bi (10 мг/кг), Hf (20 мг/кг), Cd, Sb, Ta, Tl (100 мг/кг). Взвешенное Sn установлено в менее чем 50 % случаев в концентрации 0,005–0,117 мг/л.

Таблица 2 – Содержание растворённых микроэлементов в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника (апрель – 04, август – 08 и февраль – 02), мкг/дм³

Проба		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
р. Березина										
1	04	<20	4,1	9,4	3,80	23,4	<5	1,0	<0,5	20,0
	08	<20	3,6	7,1	2,27	9,8	<5	1,0	<0,5	25,5
	02	<20	3,1	4,7	3,50	5,0	<5	<1,0	<0,5	6,9
6	04	<20	5,0	7,1	3,10	1,0	<5	<1,0	<0,5	13,8
	08	<20	4,5	6,5	1,26	5,8	<5	1,0	<0,5	14,8
	02	<20	1,0	1,0	1,40	8,3	<5	<1,0	<0,5	2,5
7	04	<20	3,8	6,9	2,50	4,0	<5	<1,0	<0,5	15,0
	08	<20	2,7	5,2	1,10	5,8	<5	1,0	<0,5	25,5
	02	<20	2,5	3,4	4,00	3,1	<5	<1,0	<0,5	10,6
оз. Палик										
8	04	<20	5,0	6,9	2,50	6,6	<5	<1,0	<0,5	13,8
	08	<20	2,9	3,5	1,14	6,7	<5	1,0	<0,5	22,7
	02	<20	2,3	1,9	2,90	8,5	<5	<1,0	<0,5	1,9
р. Красногубка										
2	04	<20	0,6	4,1	2,50	8,1	<5	<1,0	<0,5	3,8
	08	<20	<1,0	3,3	1,48	9,0	<5	<1,0	<0,5	39,9
	02	<20	1,0	1,5	2,90	23,7	<5	<1,0	<0,5	12,5
р. Можанка										
3	04	<20	4,7	6,5	2,80	3,5	<5	<1,0	<0,5	16,2
	08	<20	2,1	5,6	1,26	6,6	<5	1,0	<0,5	14,1
	02	<20	2,7	5,6	2,50	4,2	<5	<1,0	<0,5	3,8
р. Смолянка										
9	04	<20	1,6	2,5	0,80	5,4	<5	<1,0	<0,5	1,2
	08	<20	2,1	4,8	1,48	16,0	<5	<1,0	<0,5	35,1
	02	<20	1,2	1,9	2,50	5,6	<5	<1,0	<0,5	2,5
оз. Манец (р. Бузянка)										
4	04	<20	2,5	5,2	1,25	4,0	<5	<1,0	<0,5	8,8
	08	<20	<1,0	2,5	1,26	5,1	<5	<1,0	<0,5	22,7
	02	<20	2,1	3,4	2,50	9,7	<5	<1,0	<0,5	4,4
оз. Пострежское										
5	04	<20	2,2	3,1	0,80	13,0	<5	<1,0	<0,5	1,2
	08	<20	<1,0	<1,0	1,25	11,2	<5	<1,0	<0,5	14,1
	02	<20	2,7	2,6	1,90	4,1	<5	<1,0	<0,5	3,8

Конец зимнего периода (март) отражает, по-видимому, переходный момент в распределении концентраций взвешенных микроэлементов (смена подземного питания рек на снеговое). Например, распределение Fe в р. Березине начинает напоминать таковое для периода половодья (апрель): концентрация элемента в верховье растёт, в низовье и оз. Палик – снижается. Аналогично снижается концентрация Fe в р. Бузянке. Тенденции возврата к концентрациям элементов, характерным для половодья, отмечаются в р. Красногубке (Be, Ti, Cr, Ni, Zn, Pb), р. Можанке (Ti, Cr, Mn, Fe) и др.

Ряд металлов в реках бассейна Чёрного моря при низкой мутности воды мигрирует, главным образом, в растворённом состоянии (рис. 2). В частности, согласно данным [3], в водах р. Припяти 81–92 % Mn, Ni, Co, Cu мигрирует в растворённом состоянии, тогда как для Fe этот показатель заметно ниже (72 %), а для Al и Ti составляет всего 5,9 и 2,4 % соответственно.

При очень низкой мутности воды рек и озёр Березинского биосферного заповедника (вес золы взвесей по данным весеннего опробования не превышает 10 мг/л, по данным летнего и зимнего – 5 мг/л, в ряде случаев составляя 0,06 мг/л), согласно приведённой на рис. 2 теоретической модели, в них следует ожидать величину доли переноса ряда металлов во взвешенной форме порядка 0,п–п %. Действительно, оставляя в стороне влекомый сток (не более п %), из данных (табл. 1 и 2) получаем (табл. 2), что для р. Березины доля взвешенного

Со на входе реки в заповедник (проба 1) весной составляет 2,4 %, Ni – 2,1 %, Cu – 7,4 %, Pb – 7,1 %, тогда как в п. Броды (проба 6) – 0,68 %, 0,93 %, 3,7 % и 1,4 %, выше оз. Палик (проба 7) – 0,31 %, 0,62 %, 6,5 % и 1,1 % соответственно. В оз. Палик (проба 8) данный ряд показателей составляет 0,14 %, 0,29 %, 5,1 % и 0,90 % соответственно. Таким образом, за счёт разбавления вод р. Березины водами «болотных» рек на территории заповедника в весенний период, по-видимому, происходит постепенное снижение доли мигрирующих взвешенных форм указанных металлов.

Согласно данным летнего опробования (август), в распределении взвешенных форм микроэлементов в р. Березина наблюдается следующая картина: по сравнению с весенним периодом доля этих форм Со, Ni, Pb на входе реки в заповедник (точка 1) существенно падает (в 2,7–21,5 раза), тогда как на выходе (точка 7) для Со, Ni, Cu возрастает (в 1,6–7,7 раза). Распределение взвешенных Со, Ni, Pb по сравнению с весной фактически меняется на обратное – р. Березина впадает в оз. Палик более обогащённой взвешенными формами этих элементов, чем на входе в северную часть заповедника. Данное явление, по-видимому, связано с поставкой в р. Березину металлосодержащих органоминеральных коллоидов со стоком впадающих «болотных» рек.

Доля взвешенных форм Со, Ni и Cu в водах малых рек Красногубка и Бузянка также летом возрастает. С другой стороны, во всех точках опробования доля взвешенного Pb в летний период существенно снижается (в 2,0–38,3 раза) или остаётся без изменения (р. Можанка).

В конце зимы (март) в реках Березинского биосферного заповедника, по-видимому, начинается постепенное изменение величины доли взвешенных форм рассматриваемых микроэлементов примерно до уровней, наблюдавшихся в предыдущее половодье (апрель). Это подтверждается данными для Со, Ni, Cu в верховье (точка 1) и Со, Ni в низовье (точка 6) р. Березины. Для других рек, более мелких рек, вследствие переходности момента, картина неоднозначна.

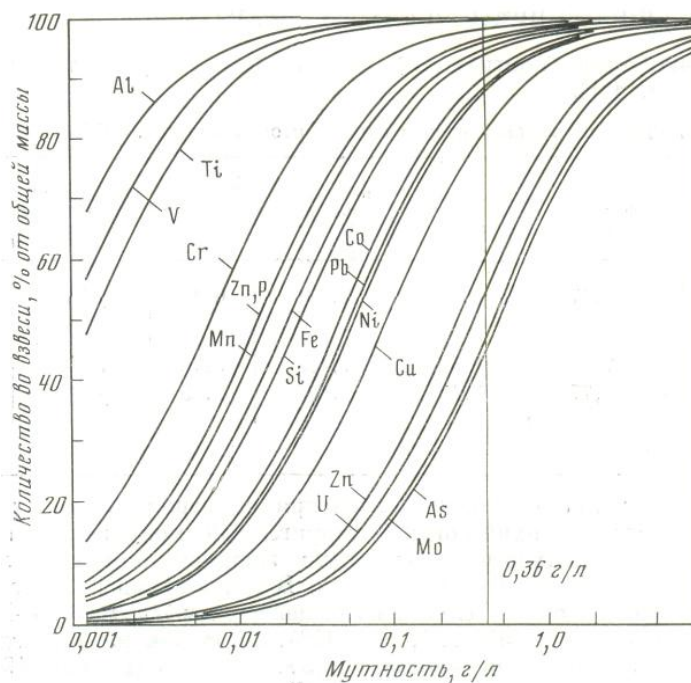


Рисунок 2 – Зависимость доли переноса металлов во взвешенном состоянии от мутности рек бассейна Чёрного моря [2]

Таблица 3 – Доля взвешенных микроэлементов в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника, %

Проба		Co	Ni	Cu	Zn	Pb
р. Березина						
1	04	2,4	2,1	7,4	11,5	7,1
	08	0,55	0,78	10,9	10,3	0,33
	02	1,7	1,9	5,7	<5,0	1,13
6	04	0,68	0,93	3,7	40,2	1,4
	02	8,3	16,8	26,5	<5,7	6,1
7	04	0,31	0,62	6,5	9,3	1,1
	08	2,4	1,8	10,6	13,1	0,51
	02	0,47	0,72	1,7	10,2	0,39
оз. Палик						
8	04	0,14	0,29	5,1	3,3	0,90
	08	0,68	1,4	3,3	<5,5	0,39
	02	0,096	0,64	0,99	7,3	2,1
р. Красногубка						
2	04	1,6	0,58	1,9	1,5	0,80
	08	4,5	2,2	3,1	7,7	0,18
	02	3,3	1,7	2,5	0,95	0,84
р. Можанка						
3	04	0,30	0,57	4,6	3,6	0,16
	08	0,38	0,25	3,1	2,0	0,16
	02	2,2	1,8	8,7	<4,5	2,1
р. Бузянка						
4	04	0,30	0,36	7,2	6,3	8,8
	08	1,7	0,64	6,1	12,0	0,23
	02	1,5	1,1	2,8	3,5	0,80
р. Смолянка						
9	02	<0,01	0,05	0,048	<0,11	0,06
оз. Пострежское						
5	04	0,68	0,93	3,7	1,7	1,4
	02	1,7	6,4	17,8	36,5	5,8

р. Птичь. В целях изучения закономерностей переноса элементов-металлов в составе взвесей речного стока в условиях слабо выраженного агротехногенного влияния, Д. Л. Твороновичем-Севруком были проведены наблюдения на геохимическом стационаре ($S = 25 \text{ км}^2$), расположенном на границе верхнего и нижнего течения р. Птичь (203 км от истока) в пределах агрогородка Дараганово Осиповичского р-на Могилёвской обл.

Агрогородок сформирован при объединении дд. Дараганово, Ковгары, Птушичи, Ульяновка. Здесь размещаются Дарагановское лесничество, колхоз «Ковгарский», спиртзавод, 2 лесопильных цеха, больница на базе санаторной школы-интерната, средняя школа, торговые объекты, баня, имеется железнодорожная станция; водопроводная сеть и канализация развиты незначительно. Геохимический стационар удалён от ближайших промышленных центров г. Осиповичи Могилёвской обл. и г. Старые Дороги Минской обл. на 20 и 25 км соответственно. На расстоянии более 50 км к северо-востоку располагается г. Бобруйск.

Река Птичь, протекающая по территории агрогородка на 7-километровом участке от д. Селец до д. Радутичи подвержена значительному меандрированию, глубина русла изменяется от 1 до 4,5 м, ширина – от 6 до 20 м. Её наиболее крупным левым притоком является канава Млынок (длина 12 км), ширина русла которой достигает 2 м, а глубина – более 1,5 м. Ручьи и каналы, впадающие в р. Птичь, спрямлены и канализованы. Протяжённость каналов достигает 2,5–3 км/км² водосбора (суммарная длина притоков р. Птичь – преимущественно мелиоративных каналов – составляет более 2 000 км, что 5-кратно превышает протяжённость основной реки). Более 1/3 территории водосбора в пределах агрогородка заболочено.

В целях исследования сезонных изменений содержания металлов взвешенном состоянии в водах р. Птичь и её притока Млынок были выбраны 3 точки наблюдений (рис. 3): 1 – на

северно-западной окраине д. Дараганово; 2 – у пересечения автодороги и канавы Млынок на северо-западной окраине д. Дараганово; 3 – в 3 км ниже по течению р. Птичь от точки 1, за железнодорожным мостом, ниже впадения сточной канавы колхоза «Ковгарский» и одноимённого спиртзавода.

На протяжении годового периода ежемесячно в каждой из 3-х перечисленных точек отбирались пробы речной воды объёмом по 100 л, которые после отстаивания фильтровались. Всего был получен 31 образец взвеси.

Установлено незначительное изменение содержания металлов во взвешенном состоянии выше и ниже д. Дараганово (порядка $\pm 5-20\%$), что свидетельствует о слабом влиянии данного населённого пункта на химический состав взвеси.

Статистические характеристики содержания металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птичь и канавы Млынок представлены в табл. 4.

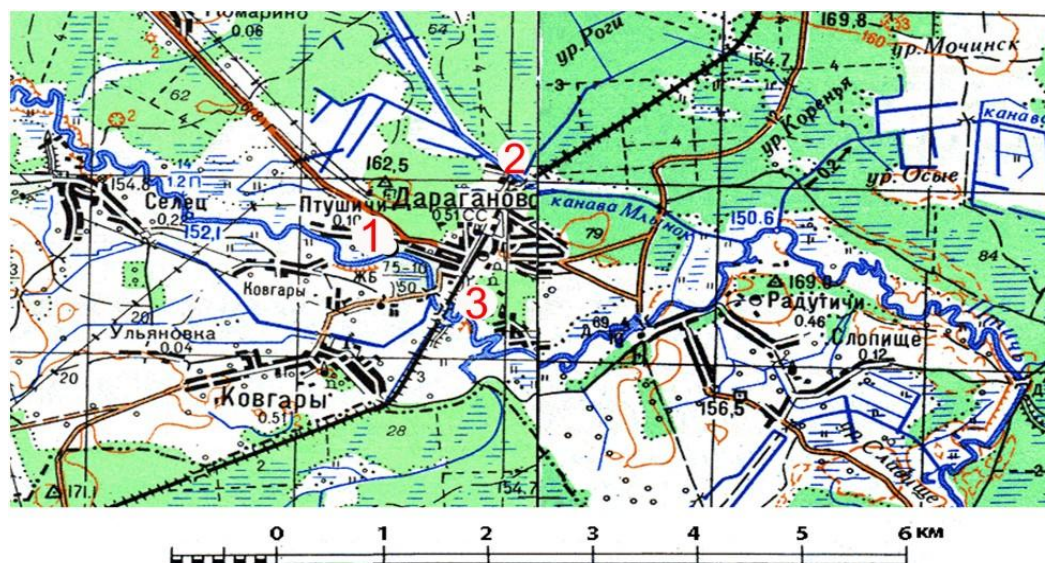


Рисунок 3 – Расположение мест отбора речных вод на геохимическом стационаре
Место отбора: 1–3 – номера точек опробования

Таблица 4 – Содержание металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птичь и канавы Млынок на стационаре «агрогородок Дараганово», мкг/дм³

Объект	<i>Be</i>	<i>Ti</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>
р. Птичь (n = 19) (A)	0,0017* (н. о. – 0,0048)**	4,98 (1,76– 11,1)	0,075 (0,021– 0,242)	0,219 (0,054– 0,539)	24,2 (2,74– 76,8)	124,7 (16,2– 432,1)	0,048 (0,010– 0,178)	0,104 (0,028– 0,351)	0,517 (0,235– 2,01)
кан. Млынок (n = 12) (B)	0,0011 (н. о. – 0,0091)	2,35 (0,951– 13,7)	0,063 (0,022– 0,319)	0,147 (0,065– 0,367)	13,6 (3,30– 63,8)	79,5 (20,8– 482,8)	0,043 (0,006– 0,153)	0,076 (0,024– 0,364)	0,329 (0,099– 1,37)
A : B	1,39	2,12	1,20	1,49	1,79	1,57	1,12	1,37	1,57
Объект	<i>Zn</i>	<i>Sr</i>	<i>Y</i>	<i>Zr</i>	<i>Nb</i>	<i>Sn</i>	<i>Yb</i>	<i>Ba</i>	<i>Pb</i>
р. Птичь (n = 19) (A)	0,671 (0,110– 2,04)	0,742 (0,235– 1,78)	0,066 (0,016– 0,177)	0,408 (0,135– 1,35)	0,019 (0,007– 0,048)	0,010 (н. о. – 0,062)	0,0065 (0,0016– 0,0177)	2,53 (1,02– 5,54)	0,198 (0,081– 0,678)
кан. Млынок (n = 12) (B)	0,567 (0,068– 2,73)	0,488 (0,149– 2,73)	0,042 (0,017– 0,364)	0,199 (0,064– 0,911)	0,011 (0,004– 0,082)	0,014 (0,002– 0,081)	0,0042 (0,0016– 0,0364)	1,28 (0,263– 4,37)	0,134 (0,015– 0,672)
A : B	1,18	1,52	1,57	2,05	1,70	0,751	1,55	1,97	1,47

Примечание: * – среднее содержание; ** – пределы вариации.

При рассмотрении приведённых данных необходимо учитывать следующее. Хотя, согласно общей схеме гидрогеохимических провинций поверхностных вод Беларуси, бассейн р. Птичь в целом относится к провинции с преобладанием биолитогенного фактора формирования (минерализация 150–250 мг/дм³) [4], в межень период минерализация может достигать в верховье реки 374 мг/дм³, в низовье – 282 мг/дм³, в половодье же по всей длине реки снижаться до 50–135 мг/дм³ [5], что заметно нарушает принятую схему, отражающую, по видимому, среднегодовые данные. Кроме того, на территории в сопряжённом состоянии одновременно присутствуют воды, сформировавшиеся преимущественно под действием различных факторов (биогенных, литогенных в разных сочетания).

Полученные данные свидетельствуют о том, что при переходе от преимущественно биогенного (канавы Млынок) к биолитогенному (р. Птичь) фактору формирования речных вод происходит увеличение средней концентрации большинства изученных металлов (1,4–1,8 раза). Наибольший рост содержания (более 2 раз) отмечен для Ti и Zr, элементов, по видимому, преимущественно связанных с кластической составляющей взвесей. Практически отсутствие роста концентрации установлено для V, Co и Zn (не более 1,2 раза) и её падение – для Sn (в 1,4 раза).

Содержание металлов во взвешенном состоянии в водах основной реки и её притока в течение года в большинстве случаев не коррелирует (исключение составляют сильная корреляция $r = +0,805$, $p < 0,002$, установленная для Ni, и средняя корреляция $r = +0,601$, $p < 0,05$ – для Nb).

Годовая динамика содержания металлов во взвешенном состоянии в водах р. Птичь и канавы Млынок рассмотрена нами в работе [6] (там же приведены многочисленные иллюстрации, которые здесь мы не приводим).

При интерпретации полученных показателей была использована «водно-эрозионная» модель, основанная на данных внутригодового изменения мутности рек, детально рассмотренных в работе [7]. Согласно этой модели: «Внутригодовое изменение мутности реки имеет для различных типов рек свои особенности, определяющиеся как гидравлическими условиями реки, так и физико-географическими условиями водосборного бассейна. Наибольший интерес представляют в этом отношении периоды паводков, так как в эти периоды года происходит основная масса годового стока наносов. На больших равнинных реках наибольшая мутность бывает главным образом на подъёме паводка, что объясняется условиями развития водной эрозии в бассейне реки. На малых же равнинных реках пик мутности зачастую почти совпадает с пиком паводка, так как продолжительность добега паводковых вод здесь очень невелика» [7, С. 193].

С учётом вышесказанного, обратимся к данным, представленным в нашей работе [6]. Для р. Птичь, половодье на которой прошло в период со второй половины марта по середину мая, говорить о каком-либо разбавлении взвесей можно гипотетически только применительно к Pb. Все прочие элементы, за исключением Sn, в данный период в большей или меньшей степени подчиняются «водно-эрозионной» модели (увеличение мутности, сопровождающееся наблюдаемым увеличением содержания микроэлементов во взвешенном состоянии, далее – коррелирующее снижение обоих показателей, например, Be, Ti, V, Cr, Mn, Y и др.). Наиболее ярко соответствие «водно-эрозионной» модели наблюдается у Zr, элемента тяготеющего к грубым гранулометрическим фракциям речных взвесей [8].

Вместе с тем, далее – с июня – «водно-эрозионная» модель перестаёт соответствовать наблюдаемым фактам: мутность реки падает, а концентрация Be, Ti, V, Cr, Fe и других элементов во взвешенном состоянии возрастает. Содержание Fe, Ni, Cu, Pb в летний период заметно превышает соответствующие показатели периода половодья. По нашему мнению, данное явление объясняется интенсификацией процессов гипергенеза (выветривание и вынос его продуктов) в тёплое время года и формированием поступающих в состав взвесей органоминеральных металлосодержащих комплексов. Вместе с тем, в октябре данные факторы теря-

ют своё значение, и концентрации V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Sr, Y, Zr, Nb, Yb, Ba, Pb становятся сопоставимыми с таковыми для марта.

В конце осеннего–зимний период наблюдается очередной рост содержания ряда металлов – Be, Cr, Mn, Fe, Co, Ni и других (Sn). Данное явление, по-видимому, связано с очередным изменением гидродинамического режима речного потока в зимнее время.

Совсем другая картина годовой динамики содержания микроэлементов во взвешенном состоянии наблюдается в водах канавы Млынок (см. нашу работу [6]). При некотором сходстве, выявленном, как указывалось выше, для Ni и Nb, воды дренирующей болотный массив канавы характеризуются принципиально иным характером годового изменения концентраций изученных элементов. В первую очередь, обращают на себя внимание отсутствие чётко выраженного влияния фактора половодья (т. е. «водно-эрозионная» модель в данном случае не действует) и доминирующее значение фактора «тёплое время года (биогенные процессы)», – при этом могут быть выделены случаи с резким повышением концентрации элементов в одном месяце (август: Be, Ti, V, Sr, Y и др.) или в группе следующих друг за другом месяцев (май–август: Mn, Fe, Ni, Co, Pb или июнь–август: Ba). В отдельных случаях наблюдается проявление фактора «зимний гидродинамический режим» (Cr, Zn).

Иерархический кластерный анализ данных. Ввиду наличия ряда групп статистически взаимосвязанных элементов, для их общей группировки может быть применён иерархический кластерный анализ (см. наши работы [6, 9–11]). Классификация проводилась различными методами: «ближайшего соседа», «дальнего соседа», «взвешенного попарного среднего», Уорда. «Метод ближайшего соседа» не даёт ясной иерархической структуры. Остальные методы дают сходные классификации при незначительных внутренних перестановках элементов.

Исследование донных отложений речной сети *Березинского биосферного заповедника* показывает наличие трёх ассоциаций химических элементов-металлов: Co–Ni–Cr; Nb–Y–V–Zr–Ba–Sr; Ti–Mn–Fe–Pb–Cu (рис. 4).

Средняя связь с органическим веществом обнаружена только для Cu (коэффициент корреляции Спирмена $\rho = 0,58$, $p < 0,001$) и Fe ($\rho = 0,53$ $p = 0,001$).

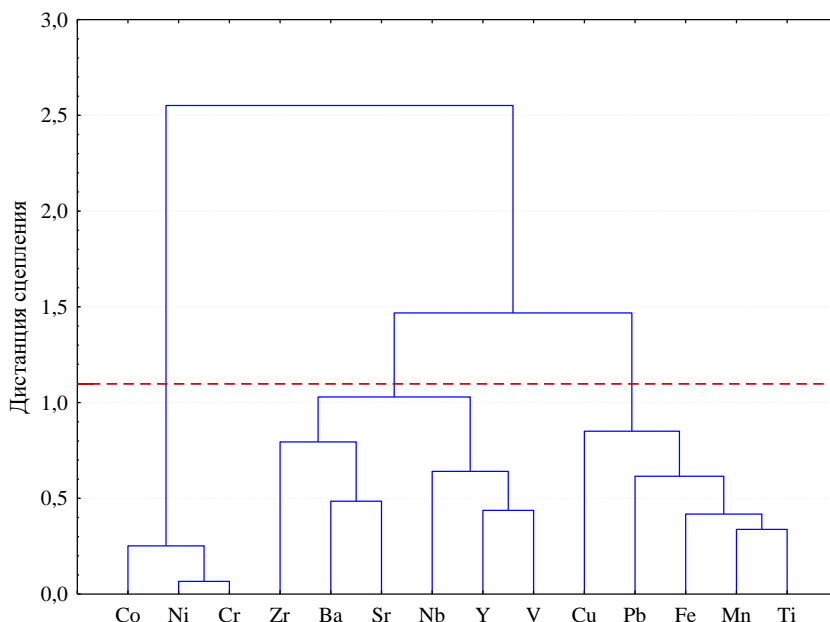


Рисунок 4 – Дендрограмма классификации микроэлементов в донных отложениях Березинского биосферного заповедника (метод Уорда)
Дистанция: 1–r (Пирсона).

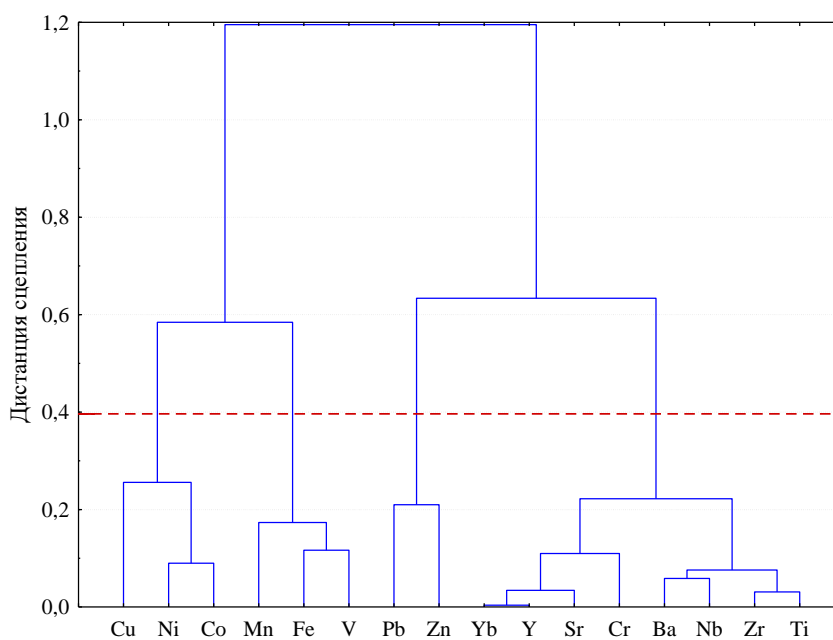


Рисунок 5 – Дендрограмма классификации микроэлементов во взвесьях Березинского биосферного заповедника (метод Уорда)
Дистанция: 1-г (Пирсона).

При переходе к речным взвесьям (рис. 5) отмечается наличие четырёх ассоциаций: Cu–Ni–Co; Mn–Fe–V; Pb–Zn; Yb–Y–Sr–Cr–Ba–Nb–Zr–Ti, причём ряд элементов входит уже в другие ассоциации (V, Cr, Cu и т. д.)

В донных отложениях *р. Птичь* в целом ($n = 16$) выделяются следующие ассоциации (рис. 6): Ni–Co; Mn–Pb–Cu–Cr; Ba–Sr; Zr–Fe–V–Yb–Y–Ti.

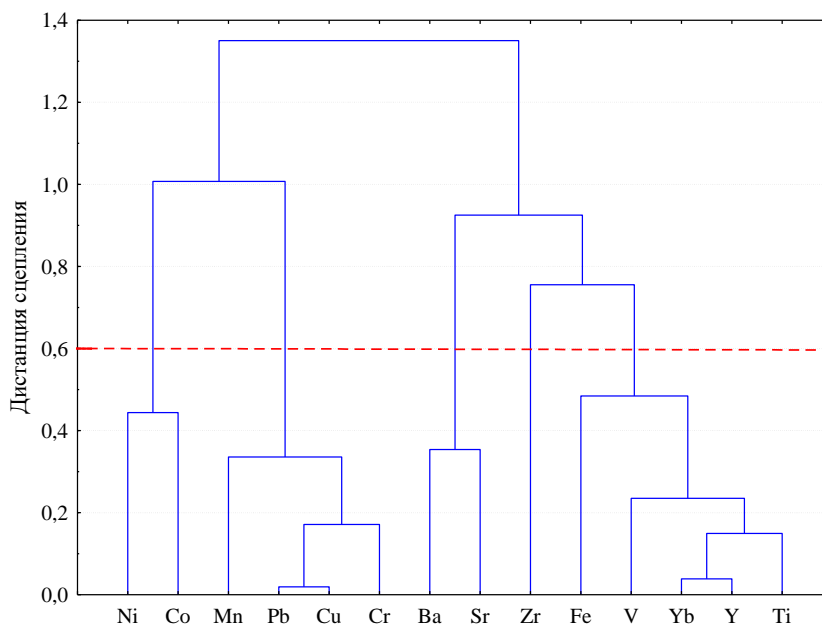


Рисунок 6 – Дендрограмма классификации микроэлементов, в донных отложениях *р. Птичь* в целом ($n = 16$; метод Уорда)
Дистанция: 1-г (Пирсона), стандартизированные данные.

Обращает на себя внимание ассоциация Mn–Pb–Cu–Cr, по-видимому, имеющая техногенный характер и связанная с органическим веществом (рис. 6, 7).

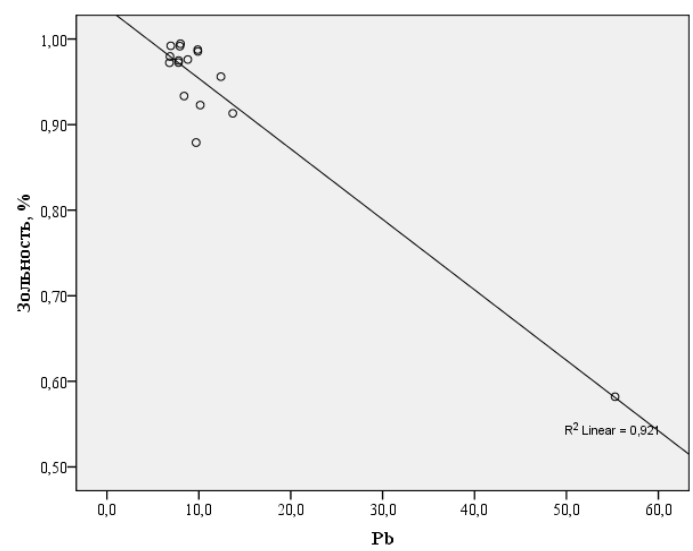
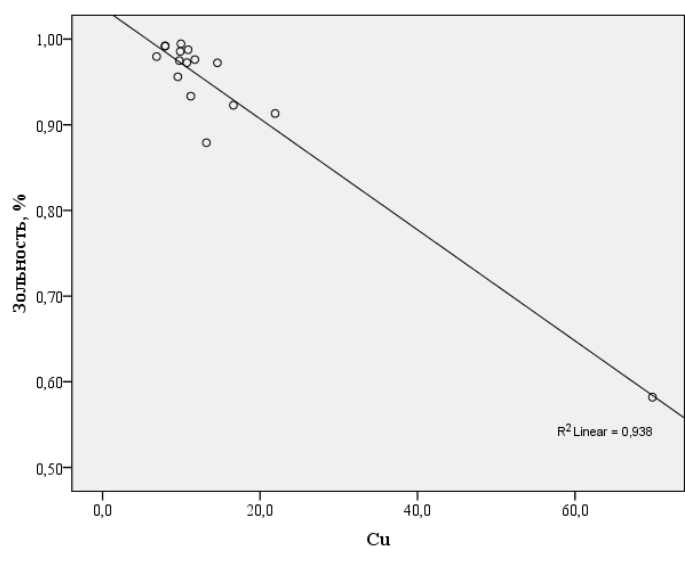
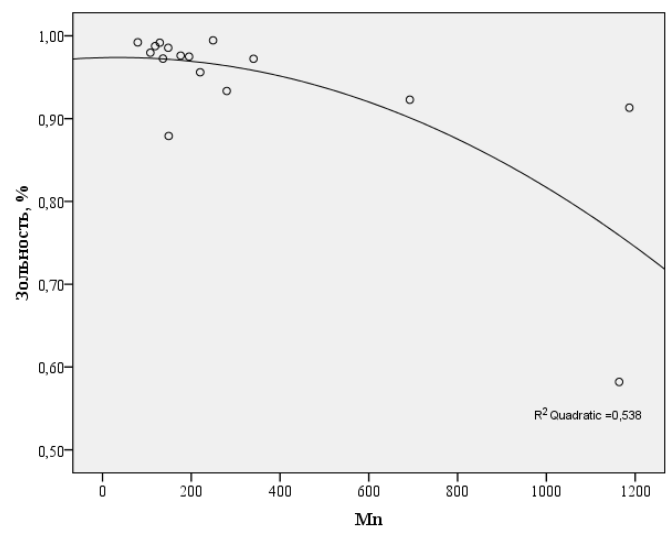


Рисунок 7 – Связь содержания Mn, Cu, Pb и органического вещества в донных отложениях р. Птичь в целом

Существенное изменение дендрограммы для донных отложений р. Птичи в целом (рис. 6) наблюдается при переходе к участку агрогородка Дараганово (рис. 8). Фактически, из прежних ассоциаций остались только устойчивые сочетания Ba–Sr и Yb–Y.

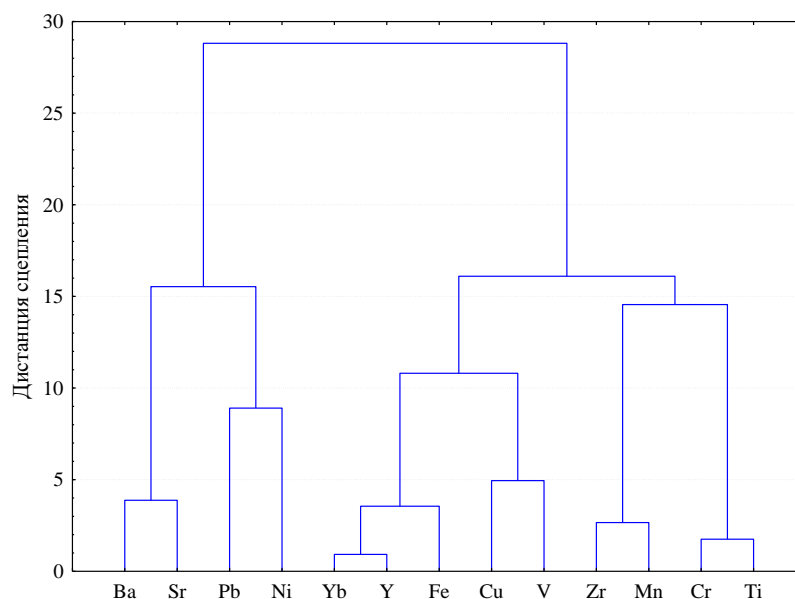


Рисунок 8 – Дендрограмма классификации микроэлементов в донных отложениях р. Птичь (агрогородок Дараганово, n = 8; метод Уорда)
Дистанция: квадрат Евклидова расстояния, стандартизированные данные.

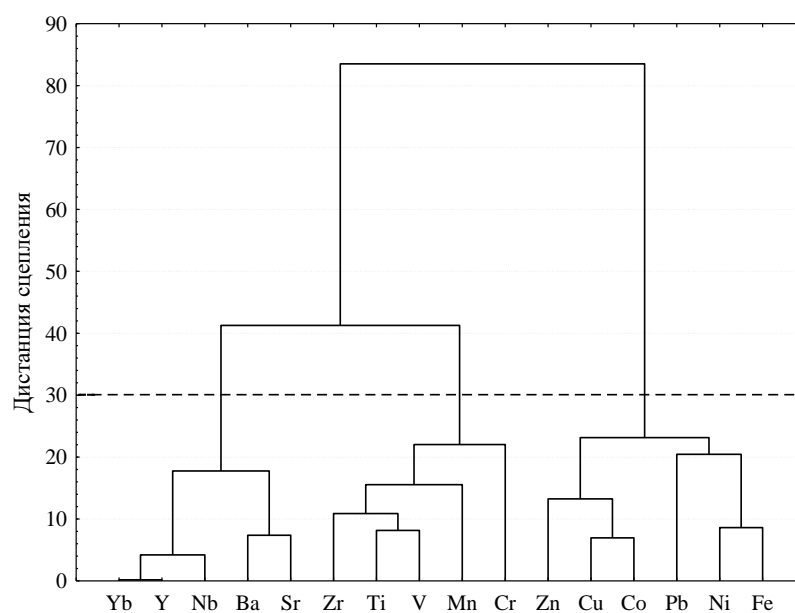


Рисунок 9 – Дендрограмма классификации микроэлементов во взвесьях р. Птичь (агрогородок Дараганово, n = 19; метод Уорда)
Дистанция: Квадрат евклидова расстояния, стандартизированные данные.

Во взвесьях р. Птичь на геохимическом стационаре в агрогородке Дараганово установлены следующие ассоциации элементов-металлов Yb–Y–Nb–Ba–Sr; Zr–Ti–V–Mn–Cr; Zn–Cu–Co–Pb–Ni–Fe (рис. 9), тогда как во впадающем в неё кан. Млынок: Ba; Yb–Y–Nb–Sr–Zr–Ti–V; Zn–Cr; Pb–Co; Cu–Mn–Ni–Fe (рис. 10).

Из приведённых дендрограмм следует, что как для р. Птичь так и каналы Млынок характерно наличие 3-х основных групп элементов, находящихся в составе взвешенного вещества; это, по-видимому, подтверждает наличие различных «сценариев» годового изменения их концентраций (о которых говорилось выше).

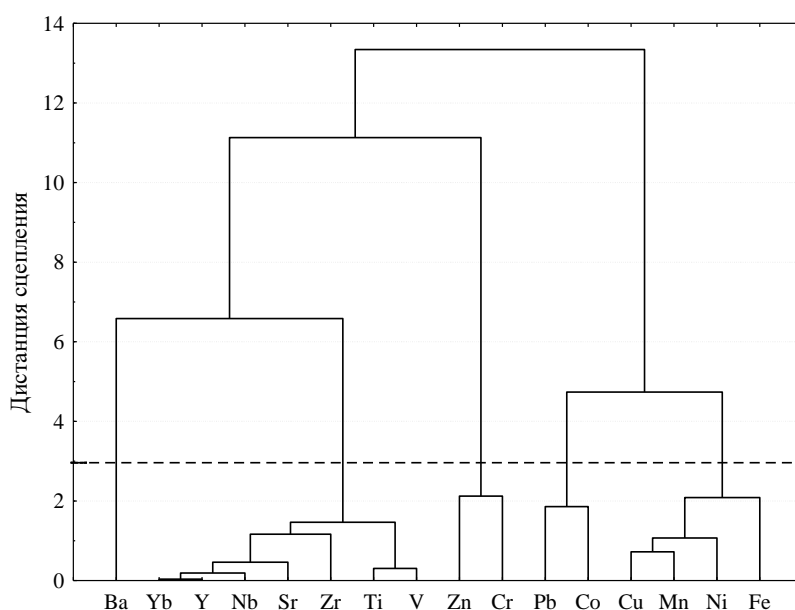


Рисунок 10 – Дендрограмма классификации микроэлементов во взвесах кан. Млынок (агророгодок Дараганово, n = 12; метод полной связи)
Дистанция: Квадрат евклидова расстояния, стандартизированные данные.

Оценка степени влияния агротехногенеза на перенос металлов во взвешенном состоянии. Как нами было показано в работе [6], в пределах одного населённого пункта сельского типа антропогенное воздействие на состав снеговых вод проявляется в виде 2-3-кратного увеличения содержания взвешенной формы многих химических элементов-металлов. Т. к. в бассейне р. Птичь ($S = 9\,558\text{ км}^2$) насчитывается более 300 деревень, а также существует разветвлённая сеть дренирующих территорию мелиоративных каналов, можно сделать вывод о наличии влияния антропогенного фактора на увеличение поступления металлов во взвешенном состоянии в воды данной реки.

Используя данные табл. 5 и 6, оценим это влияние (табл. 7). В 1 и 2 строках данной таблицы приведены нормированные данные: средний показатель содержания элемента во взвешенном состоянии разделён на средний показатель содержания элемента в донных осадках; полученное значение для удобства восприятия умножено на 1 000. В 3 строке приведено отношение данных 1 строки ко второй. В 4 строке приведено отношение 1 и 3 строк табл. 6 (ненормированные данные).

Таблица 5 – Содержание химических элементов в донных отложениях, мг/кг

Водотоки (n)	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe, %	Co	Ni	Cu	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
р. Птичь (16)	0,49	1 244	19,2	15,0	231	0,868	2,48	11,7	12,4	148	14,3	363	5,56	357	1,45	9,88
Дар. (8)	0,30	929	17,2	13,5	177	0,691	2,48	13,4	10,5	137	11,1	366	4,81	364	0,99	9,24
ББЗ (37)	0,91	1 420	21,9	16,3	534	1,73	6,07	14,2	14,9	157	12,9	391	6,45	507	1,32	18,2

Примечание: Дар. – участок р. Птичь в районе агрогородка Дараганово, ББЗ – Березинский биосферный заповедник.

Таблица 6 – Содержание химических элементов во взвешенном состоянии, мкг/дм³

Водотоки (n)	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
Дар. (19)	0,002	5,67	0,087	0,24	27,0	165	0,048	0,104	0,517	0,70	0,85	0,066	0,408	0,022	2,40	0,0065	0,20
Млынок (12)	0,001	2,35	0,063	0,17	13,6	79,5	0,069	0,076	0,329	0,75	0,49	0,042	0,199	0,011	1,28	0,0042	0,13
ББЗ (23)	Н.д.	1,99	0,037	0,06	5,26	44,9	0,019	0,040	0,090	0,33	0,27	0,025	0,193	0,010	0,73	0,0025	0,08

Таблица 7 – Отношение содержания металлов во взвешенном состоянии к их содержанию в донных отложениях ($\times 1\ 000$) р. Птичь (агророгодок Дараганово) и рек Березинского биосферного заповедника

Водотоки	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
Дар. (1)	6,67	6,10	5,06	17,8	152,5	23,9	19,4	7,76	49,2	6,20	5,95	1,11	4,57	6,59	6,57	21,7
ББЗ (2)	н.д.	1,40	1,69	3,68	9,85	2,60	3,13	2,82	6,04	1,72	1,94	0,49	1,55	1,44	1,89	4,40
1 : 2	–	4,36	2,99	4,83	15,5	9,20	6,18	2,76	8,15	3,61	3,07	2,26	2,95	4,58	3,47	4,92
1 : 2*	–	2,85	2,35	4,00	5,13	3,67	2,53	2,60	5,74	3,15	2,64	2,11	2,20	3,29	2,60	2,50

* – без нормирования по содержанию металла в донных отложениях.

Таким образом, в условиях агротехногенеза умеренной степени существенно возрастает интенсивность переноса следующих металлов в речных водах во взвешенной форме (нормированные данные): V, Ni, Zr, Nb (до 3 раз), Ti, Cr, Sr, Y, Ba, Yb, Pb (3–6 раз), Co, Cu (6–9 раз), Fe, Mn (9–16 раз).

Библиографические ссылки

1. Лукашѐв О. В., Натаров В. М., Савченко В. В., Лукашѐва Н. Г., Савченко С. В., Творонович-Северук Д. Л. Эколого-геохимическое состояние поверхностных вод и речных отложений на территории Березинского биосферного заповедника // Природопользование. 2009. № 15. С. 79–87.
2. Волков И. И. Химические элементы в речном стоке и формы их поступления в море (на примере рек Черноморского бассейна) // Пробл. литологии и геохимии осадоч. пород и руд. М. : Наука, 1975.
3. Кузнецов В. А. Геохимия речных долин. Минск : Наука и техника, 1986.
4. Геохимические провинции покровных отложений БССР / Под ред. К. И. Лукашѐва. Минск : Наука и техника, 1969.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озѐр. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Т. 5. Ч. 1 / Под ред. В. В. Куприянова. Л. : Госгидрометеиздат, 1971.
6. Лукашѐв О. В., Творонович-Северук Д. Л., Лукашѐва Н. Г., Жуковская Н. В., Савченко С. В. Перенос металлов со взвешенным веществом в водах реки Птичь // Природопользование. 2012. Вып. 21. С. 99–107.
7. Лопатин Г. В. Наносы рек СССР. М. : Гос. изд-во географ. лит., 1952.
8. Химия океана: в 2 т. М. : Наука, 1979. Т. 2. С. 14.
9. Лукашѐв О. В., Жуковская Н. В., Натаров В. М., Лукашѐва Н. Г., Савченко С. В. Ассоциации химических элементов в природных компонентах на территории Березинского биосферного заповедника // Природопользование. 2014. Вып. 25. С. 115–123.
10. Лукашѐв О. В., Жуковская Н. В., Натаров В. М., Лукашѐва Н. Г., Савченко С. В. Микроэлементы в аллювиальных почвах Березинского биосферного заповедника // Природопользование. 2015. Вып. 28. С. 25–31.
11. Лукашѐв О. В., Жуковская Н. В., Лукашѐва Н. Г. Ассоциации химических элементов в почвенном покрове природных и урбанизированных территорий // Вестн. БГУ. Сер. 2. Химия, биология, география. 2016. № 1. С. 46–55.