

Научная статья

Original article

УДК 631

doi: 10.55186/2413046X_2024_9_8_350

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
МАЛЫХ РЕК РЕСПУБЛИКИ КОМИ В УСЛОВИЯХ СПЛОШНЫХ
РУБОК**

**THE CONTENT OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF
SMALL RIVERS WITH BASINS, DISTURBED BY CLEAR FOREST
CUTS IN THE KOMI REPUBLIC**



Динкелакер Никита Фридрих Йоргович, аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, E-mail: nicfred2015@yandex.ru

Агаханиянц Полина Феликсовна, кандидат технических наук, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, E-mail: nicfred2015@yandex.ru

Динкелакер Наталья Владимировна, преподаватель, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, E-mail: nvdinkelaker@mail.ru

Дидиков Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, преподаватель, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, E-mail: didikov@yandex.ru

Мешечко Максим Игоревич, лаборант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, E-mail: m23092003@gmail.com

Dinkelaker Nikita Friedrich Yorgovich, graduate student, ITMO University, Saint-Petersburg, E-mail: nicfred2015@yandex.ru

Agakhanyants Polina Feliksovna, Ph.D, Associated Professor, ITMO University, Saint-Petersburg, E-mail: nicfred2015@yandex.ru

Dinkelaker Natalia Vladimirovna, teacher, ITMO University, Saint-Petersburg,

E-mail: nvdinkelaker@mail.ru

Didikov Alexander Evgenievich, Ph.D., teacher, ITMO University, Saint-

Petersburg, E-mail: didikov@yandex.ru

Meshechko Maxim Igorevich, Laboratory assistant, ITMO University, Saint-

Petersburg, E-mail: m23092003@gmail.com

Аннотация. Было изучено накопление тяжелых металлов в 24 водотоках Республики Коми, нарушенных лесозаготовками разного возраста. Содержание тяжелых металлов определяли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Накопление тяжелых металлов в донных отложениях малых рек Республики Коми связано со степенью нарушения водосборных бассейнов сплошными лесными рубками. Геохимические изменения в реках с нарушенными водосборами проявляются в увеличении содержания стронция, свинца, мышьяка, цинка, никеля, кобальта, хрома, железа и титана и снижении содержания марганца.

Abstract. The accumulation of heavy metals was studied in 24 watercourses of the Komi Republic, disturbed by logging of various ages. Heavy metals were determined by X-ray fluorescence spectroscopy. The accumulation of heavy metals in the sediments of small rivers of the Komi Republic is associated with the degree of disturbance of the catchment basins by clear forest cuts. Geochemical changes in rivers with disturbed catchments are manifested in an increase in the content of strontium, lead, arsenic, zinc, nickel, cobalt, chromium, iron and titanium, and a decrease in the content of manganese.

Ключевые слова: донные отложения, аккумуляция тяжёлых металлов, малые реки, рубки леса, средняя тайга, водосборный бассейн

Keywords: sediments, accumulation of heavy metals, small rivers, logging, middle taiga, drainage basin

Введение

Большинство малых рек европейской части средней тайги на территории России имеют в своих водосборных бассейнах территории, пройденные сплошными рубками леса различной давности. Негативное воздействие рубок на поверхностные водные объекты проявляется в многочисленных изменениях, проявляющихся на разных стадиях воздействия и в процессе восстановления после него. Известно, что рубки леса сопровождаются нарушением гидрологического режима территорий [1], эрозией и смывом почв [2], часто приводящие изменениям в руслах рек [3]. Такие нарушения неизбежно сопровождаются геохимическими изменениями в почве и водных экосистемах. При отсутствии антропогенного влияния геохимические особенности донных отложений и их естественная динамика регулируется естественными процессами и имеют естественную межгодовую и сезонную динамику [4], антропогенная нагрузка изменяет геохимические процессы [5-8], в том числе на длительные периоды [9]. Большинство рек Республики Коми имеют давнюю антропогенную нагрузку, преимущественно вследствие лесозаготовок, и повышенный уровень загрязнения воды [10].

При сплошных рубках происходит нарушение почвенно-растительного покрова, удерживающего почвенный слой, что приводит к интенсивному смыву почвы с ливневыми водами и поступлению содержащихся в них веществ, в том числе тяжелых металлов (ТМ), в водные объекты [2]. В реках поступающие избыточные количества ТМ загрязняют воду, и могут в различной степени аккумулироваться в донных отложениях [11]. При этом они поступают в организмы гидробионтов и, соответственно, в пищевые цепи водных экосистем. Это может вызывать интоксикацию гидробионтов [12]. Загрязненные донные отложения создают в водном объекте постоянный источник поступления тяжелых металлов в воду и пищевые цепи [12, 14].

Оценка загрязненности донных отложений ТМ является одним из основных методологических оценки их экологического состояния (показатель накопления тяжелых металлов [13], индекс геоаккумуляции ТМ)

[15]. Несмотря на практическую значимость вопроса для безопасности водных биологических ресурсов, и на малое количество таежных рек, водосборные бассейны которых не затронуты лесозаготовительной деятельностью, в настоящее время в России отсутствуют как экологические, так и санитарно-гигиенические нормативы содержания ТМ в донных отложениях рек [13].

Одной из причин отсутствия внимания к проблеме является недостаточная изученность непосредственного влияния рубок леса на накопление ТМ в донных отложениях. Наиболее острый дефицит сведений наблюдается для труднодоступных районов тайги, где лесозаготовки проводятся преимущественно в зимний период. В наших более ранних исследованиях [16], касавшихся влияния рубок леса на донные отложения малых рек северной европейской тайги, было отмечено влияние рубок леса в водосборных бассейнах рек на содержание ТМ в донных отложениях.

Основная часть

В рамках настоящего исследования изучено влияния сплошных рубок леса в водосборных бассейнах рек средней европейской тайги на содержание тяжелых металлов и металлоидов в донных отложениях 10 малых рек Республики Коми (Пучкома, Большая Ыя, Малая Ыя, Кужим, Ившор, Гобрысь, Керью, Улькомысь, Коскомысь, Лупт), имеющие различную степень нарушенности водосборных бассейнов сплошными рубками разной давности. Для определения давности вырубок была использована документация лесоустройства и космические снимки посредством их изучения в RGB диапазоне. Сбор материала донных отложений проводился в 2022 году. Определение тяжелых металлов (Sr, Pb, Zn, As, Ni, V, Cr,) в донных отложениях методом рентгенофлюоресцентного анализа [17], после чего была проведена оценка содержания тяжелых металлов.

В результате исследования давности вырубок зоне водосборных бассейнов было выявлено, что водосборные бассейны рек Большая Ыя и

Пучкома наименее повреждены вырубками. Средний возраст вырубок в исследованных водосборных бассейнах составляет от 30-60 лет.

Водосборные бассейны исследованных рек заняты лесами, преимущественно еловыми, в них отсутствуют населенные пункты, сельскохозяйственные угодья и иные антропогенные объекты, то есть основным и фактически единственным видом негативного антропогенного воздействия являются сплошные рубки леса. Донные отложения представлены преимущественно песками. В результате анализа содержания тяжелых металлов и металлоидов в донных отложениях изученных рек выявлены значительные различия между водотоками как в общем накоплении ТМ в донных грунтах (до 8-9 раз), так и накоплении отдельных металлов (таблица 1).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и металлоидов в донных отложения малых рек Республики Коми.

Река	Содержание тяжелых металлов и металлоидов, мг/кг										
	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
р.Гобрысь	82	0	5	5	5	6	8013	657	42	8	1192
р. Улькомысь	70	1	3	5	8	0	3442	61	40	6	1149
р.Ившор	156	6	5	28	15	9	10702	785	57	26	2013
р. Б. Ыя	166	8	8	85	38	20	24899	860	86	89	4598
р.Кужим	98	8	5	21	8	1	7206	385	40	11	1128
р.Пучкома	68	0	3	13	9	5	3012	83	40	2	1007
р.Коскомысь	116	6	7	80	44	15	30062	2848	88	120	6311
р.Керью	100	4	5	11	10	7	4302	154	38	1	800
р. М.Ыя	107	0	4	12	13	2	5324	247	42	8	1099
р. Лупт	76	8	6	42	18	9	10110	533	46	24	1592

Наибольшее количественное накопление в донных отложениях отмечено для железа и титана, несколько меньшее – для марганца и стронция.

Поскольку количественные показатели содержания у отдельных ТМ могут сильно различаться, отдельно проводился анализ накопления для железа и титана и для марганца. Для исследования вопроса о влиянии рубок леса, проводимых в водосборных бассейнах, на накопление ТМ в донных отложениях, был проведен сравнительный анализ общего содержания исследуемых ТМ (без железа и стронция) в реках с разной степенью нарушения рубками всех возрастов (рис.1). Для этого исследованные реки были разделены на 3 группы: «сильно нарушенные», у которых вырубки занимают более 50% водосборной площади; «нарушенные» (25-50% водосборной площади занимают вырубки); «мало нарушенные» (вырубки занимают менее 25% водосбора).

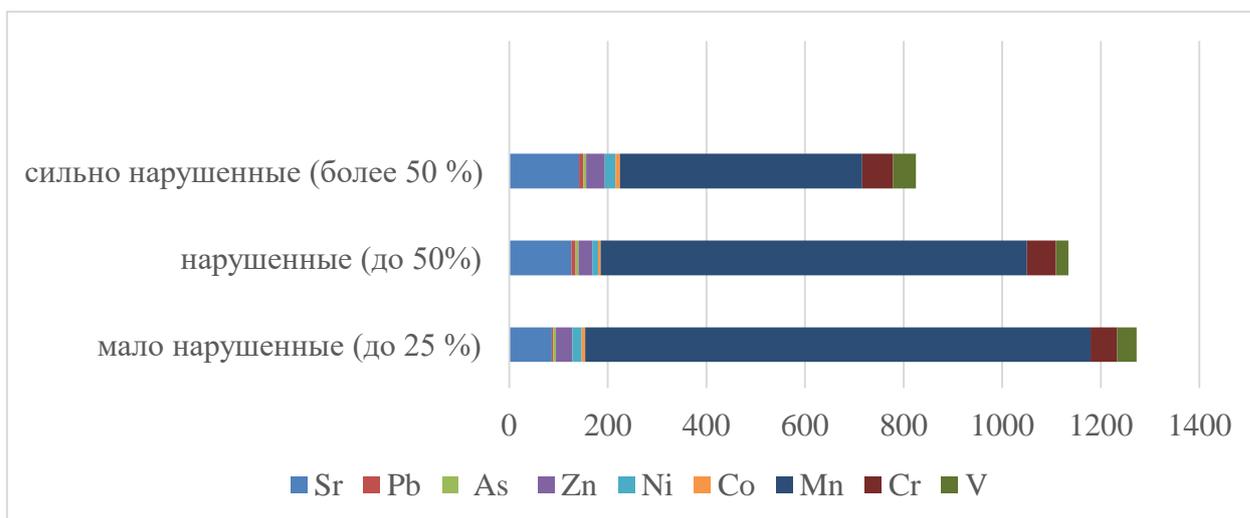


Рис.1 Накопление ТМ (без железа и титана) в реках с разной степенью нарушения рубками всех возрастов, мг/кг

Наиболее высокое суммарное содержание ТМ (без железа и титана) наблюдалось в донных отложениях рек с мало нарушенными рубками водосборными бассейнами, наиболее низкое – в донных отложениях рек с сильно нарушенными водосборами. Эти различия преимущественно связаны в разницей в содержании марганца. При нарушении лесов в водосборном бассейне происходит снижение содержания марганца в донных отложениях, что может быть связано с сокращением биоаккумуляции и накопления его в

фитомассе и почвах, однако для остальных исследованных металлов такой тенденции не наблюдается. Накопление стронция имеет обратную тенденцию – он накапливается более активно при увеличении нарушенности водосбора рубками (рис.2).

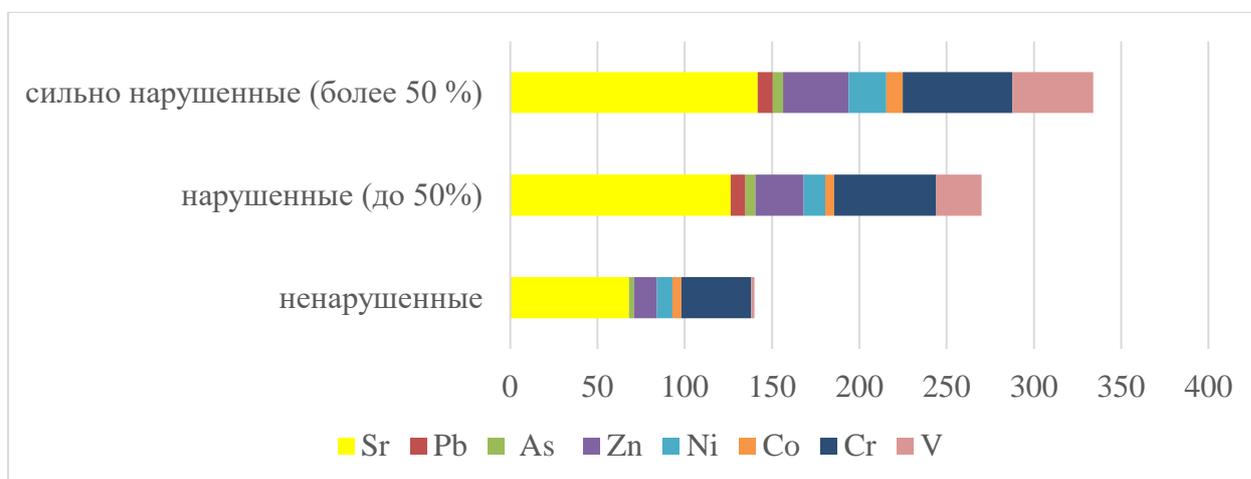


Рис.2 Накопление ТМ (без железа, титана и марганца) в реках с разной степенью нарушения рубками всех возрастов, мг/кг

При увеличении доли нарушенных рубками лесов в водосборном бассейне наблюдается увеличение содержания Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Cr, V в донных отложениях. Содержание железа и титана в исследованных донных отложениях возрастает при увеличении доли нарушенности водосбора рубками. (рис.3)

Влияние недавних рубок леса на накопление ТМ в донных отложениях

Отдельно было проведено изучение влияния свежих рубок (давностью до 5 лет) на накопление ТМ в донных отложениях. Установлено, что суммарное накопление ТМ (без железа и титана) имеет наименьшие значения в реках, менее нарушенных недавними вырубками, что определяется такой тенденцией у марганца (рис. 4).

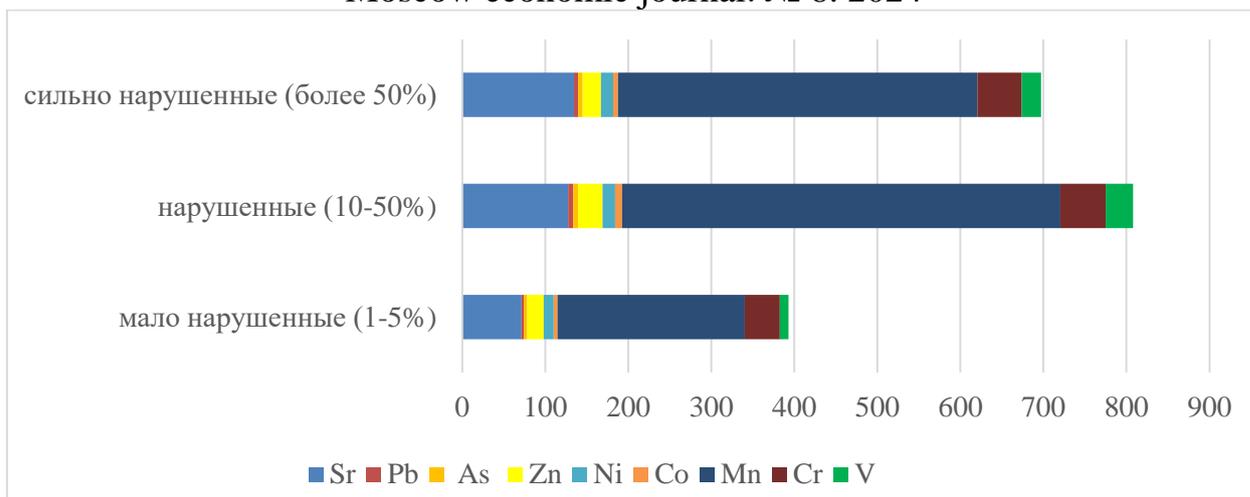


Рис.4. Накопление ТМ (без железа и титана) в реках с разной степенью нарушения недавними (0-5 лет) рубками леса в водосборах, мг/кг.

Накопление стронция, свинца, цинка, никеля, хрома, ванадия, а также железа и титана в донных отложениях ниже в реках с малой долей недавних вырубок в водосборных бассейнах (рис.4, рис.5).

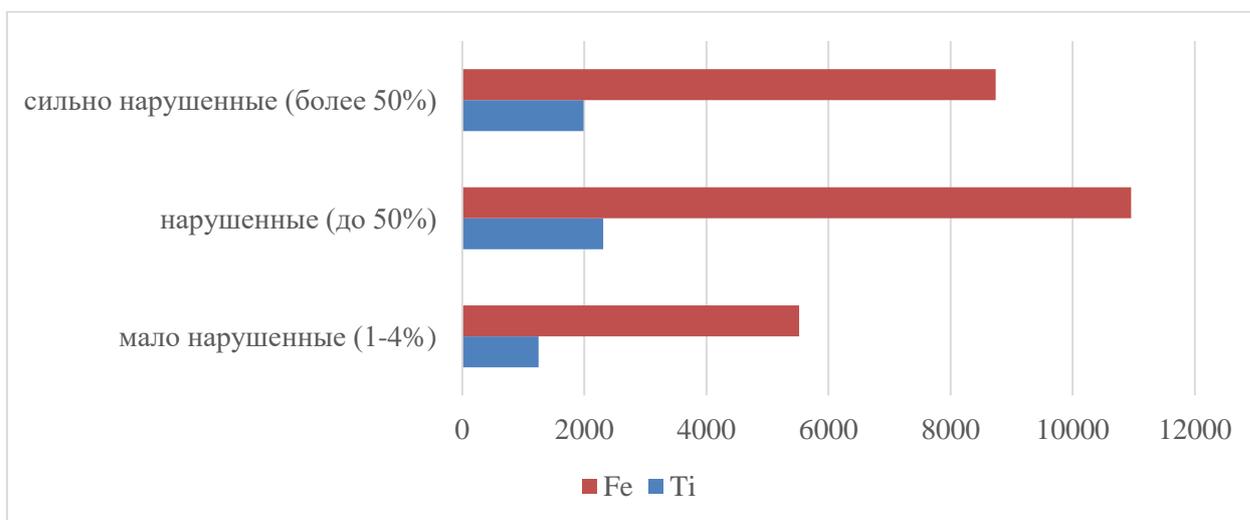


Рис.5. Накопление железа и титана в реках с разной степенью нарушения недавними (0-5 лет) рубками леса в водосборах, мг/кг.

Связь накопления ТМ в донных отложениях с заболоченностью и сохранностью ненарушенных лесов в водосборных бассейнах

На аккумуляцию тяжелых металлов в донных отложениях также влияют условия стока, в связи с этим был проведен корреляционный анализ (с

использованием коэффициента корреляции Спирмена) связи между суммарным накоплением ТМ в донным отложениях, доли болот и ненарушенного рубками леса в водосборных бассейнах исследованных рек (рис.6).

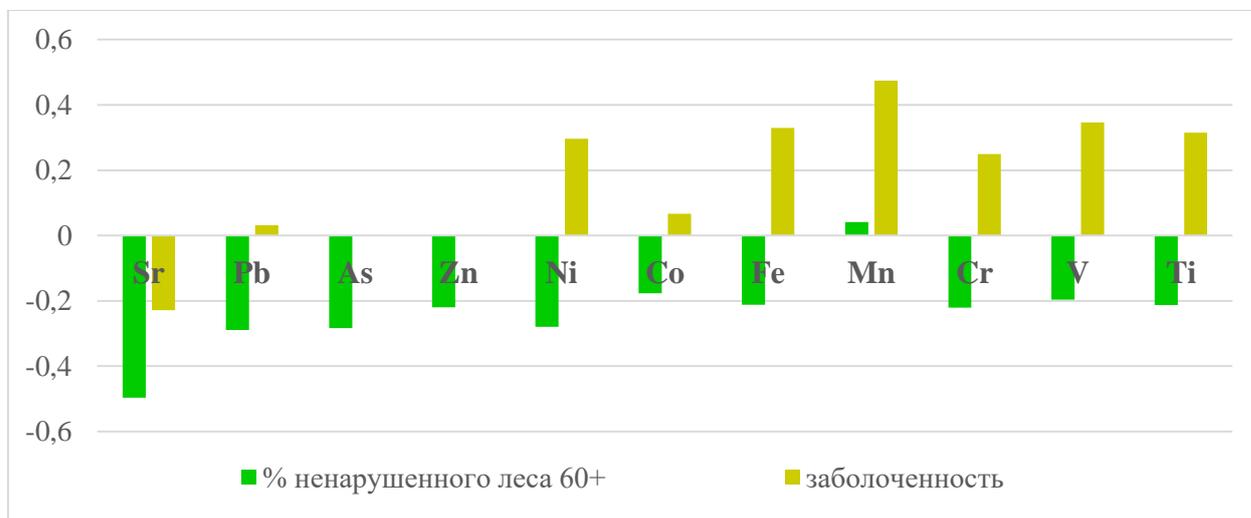


Рис.6. Корреляция между накоплением ТМ в донных отложениях с площадью ненарушенных лесов (старше 60 лет) и заболоченностью водосборного бассейна (ВБ) (К корр. Спирмена)

Были установлены следующие взаимосвязи:

- слабая связь накопления ТМ в донных отложениях и площади ненарушенных лесов старше 60 лет;
- увеличение содержания Sr при снижении доли площади ненарушенных лесов старше 60 лет в ВБ (связь средней силы)

При повышении степени заболоченности происходит увеличение содержания Mn (связь средней силы)

Влияние доли вырубок разной давности в водосборе на накопление отдельных ТМ в донных отложениях

Для исследования динамики геохимических изменений в донных отложениях в процессе восстановления лесных территорий после сплошных рубок был проведен анализ связи между накоплением отдельных ТМ в донных отложениях в водотоках с преобладанием вырубок различной

давности в водосборном бассейне (рис. 7). Первая оценивалась с помощью коэффициента корреляции Спирмена для каждого из исследованных металлов в каждой группе рек с преобладанием рубок определенного возраста, что отражает связь геохимических процессов донных отложениях с восстановлением леса после рубок.

Таблица 2. Корреляция между накоплением отдельных ТМ в донных и площадью вырубок различной давности в водосборном бассейне.

Вырубки	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
Группа 1 (0-10 лет)	0,33	-0,32	-0,08	-0,37	-0,32	-0,22	-0,28	-0,25	-0,19	-0,27	-0,21
Группа 2 (10-20 лет)	0,45	-0,02	0,15	0,03	0,08	-0,04	0,05	-0,16	0,06	0,01	0,06
Группа 3 (20-30 лет)	-0,09	0,21	0,07	-0,03	0,03	0,03	-0,08	-0,22	-0,17	-0,12	-0,11
Группа 4 (30-40 лет)	-0,14	0,23	0,09	0,27	0,37	-0,03	0,28	0,36	0,20	0,31	0,31
Группа 5 (40-60 лет)	0,65	0,41	0,57	0,54	0,51	0,47	0,15	0,49	0,47	0,41	0,99
Группа 6 (более 60 лет)	-0,50	-0,29	-0,28	-0,22	-0,28	-0,18	-0,21	0,04	-0,22	-0,20	-0,21

Полученные значения корреляции между площадью вырубок определенной давности и накоплением тяжелых металлов для исследованных водотоков фактически отражают динамику взаимосвязи этих характеристик в процессе лесовосстановления после рубок, что визуализировано на рисунке 7.

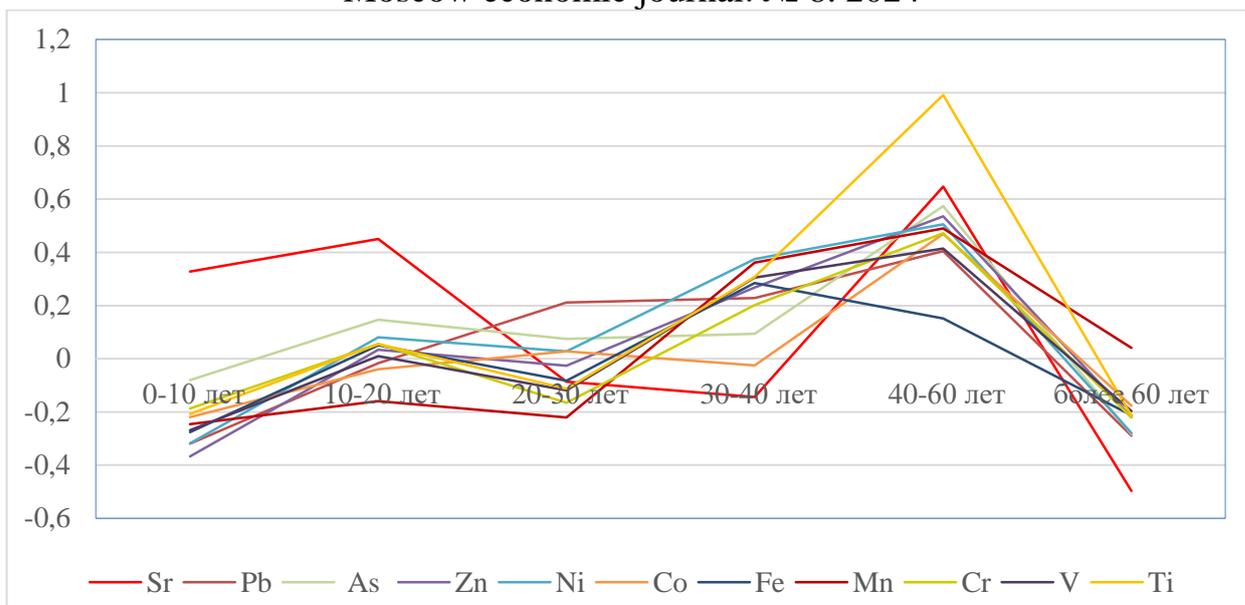


Рис.7. Динамика изменения силы корреляции накоплением ТМ в донных отложениях с площадью вырубок различной давности (К корр. Спирмена) в донных отложениях рек.

Выявлена слабая связь накопления всех исследованных ТМ в донных отложениях реки доли вырубок давностью до 30 лет в водосборе с преобладанием слабой отрицательной корреляции при большей доле лесов в начале восстановления (0-10 лет), возрастающей по мере увеличения доли более давних вырубок. Корреляции средней силы наблюдаются для всех исследованных при увеличении доли лесов группы 30-40 лет и 40-60 лет (максимальная положительная).

Выводы

Накопление тяжелых металлов в донных отложениях малых рек Республики Коми имеет связано со степенью нарушенности водосборных бассейнов сплошными рубками леса. Геохимические нарушения в реках с нарушенными водосборами проявляются в увеличении содержания стронция, свинца, мышьяка, цинка, никеля, кобальта, хрома, железа и титана, и снижении содержания марганца. Связь накопления ТМ в ДО и площади ненарушенных лесов в водосборном бассейне у исследованных элементов преимущественно оценивается как слабая, средней силы – для стронция и

марганца. При более высокой степени заболоченности происходит увеличение содержания Mn в донных отложениях (связь средней силы).

Список источников

1. Онучин А. А., Буренина Т. А., Зирюкина Н. В., Фарбер С. К. Лесогидрологические последствия рубок в условиях средней Сибири // Сибирский лесной журнал - 2014. - № 1. - С. 110–118
2. J. Croke, P. Wallbrink, P. Fogarty, P. Hairsine, S. Mockler, B. McCormack, J. Brophy The forest industry and water quality Managing Sediment Sources and Movement in Forests: The Forest Industry and Water Quality/ Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, - 1999. - 37 p.
3. Злотина Л.В., Беркович К.М. О влиянии прибрежной растительности на русловые процессы / Сб .География и природные ресурсы. № 1. – Новосибирск: изд-во Гео. -2012. - С. 31-37.
4. Кислякова Е.Г. Изучение геохимического поля экосистем малых рек // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. тр. М. - РУДН. - 2011- вып. 13. - ч. 2. – С. 113-1176
5. Воронков П.П. Основные факторы и закономерности формирования химического состава воды малых водотоков // Тр. ГГИ. - Вып. 102. – Л.: Гидрометеиздат, 1963.- С. 120-135
6. Перельман А.И. Геохимия природных вод / А.И. Перельман.- М.: Наука, 1982. - 154 с.
7. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы / М.: Наука, 1991. – 243 с
8. Ложниченко О.В. Экологическая химия / О.В. Ложниченко, И.В. Волкова, В.Ф. Зайцев. – М.: Академия, 2008. – 272 с.
9. K. Sudalaimuthu. Geospatial visualization and seasonal variation of heavy metals in river sediments // Global Journal of Environmental science and management . -2023. -V.9, Iss. 2 - Ser. 34/ - P 309-322

10. Решетняк О.С., Кондакова М.Ю., Даниленко А.О., Косменко Л.С., Решетняк В.Н. Тенденции изменчивости химического состава речных вод европейской части арктической зоны России// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2019. - № 1 (201). - С. 86-94.
11. Линник П.Н. Донные отложения водоемов как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов / П.Н. Линник // Гидробиол. журн. - 1999. - Т. 35. - № 2. - С. 97- 109
12. Линник П.Н. Формы миграции тяжелых металлов и их действие на гидробионтов / П.Н. Линник // Экспериментальная водная токсикология. - Рига: Знание, 1986. - С. 144-154
13. Бреховских, В. Ф. Донные отложения Иваньковского водохранилища / В. Ф. Бреховских, Т. Н. Казмирук, В. Д. Казмирук. - М.: Наука, 2006. - 253 с.
14. Forstner, U., Muler G . Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical back ground, man's influence and environmental impact // Geojournal, 1981. - P. 417 – 432.
15. Даувальтер, В. А. Геоэкология донных отложений озер / Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. - 242 с.
16. Dinkelaker N.Y., Dinkelaker N.V. Ecological state of small rivers of the Onega Peninsula//Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University - 2021. - VOL. 1. - № 1. - S. 106-109
17. Методика выполнения измерения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа М049-П/04 / - СПб: ООО «НПО Спектрон», 2002 . - 46 с.

References

1. Onuchin A. A., Burenina T. A., Ziryukina N. V., Farber S. K. Forest hydrological consequences of logging in conditions of Central Siberia // Siberian Forest Journal - 2014. - № 1. - pp. 110-118

2. J. Croke, P. Wallbrink, P. Fogarty, P. Hairsine, S. Mockler, B. McCormack, J. Brophy The forest industry and water quality Managing Sediment Sources and Movement in Forests: The Forest Industry and Water Quality/ Cooperative Research Center for Catchment Hydrology, - 1999. - 37 p.
3. Zlotina L.V., Berkovich K.M. On the influence of coastal vegetation on riverbed processes / Collection Geography and natural resources. No. 1. – Novosibirsk: publishing house Geo. -2012. - pp. 31-37.
4. Kislyakova E.G. Studying the geochemical field of ecosystems of small rivers // Actual problems of ecology and nature management: Sat. scientific tr. M. - RUDN. - 2011- issue. 13. - part 2. – pp. 113-1176
5. Voronkov P.P. The main factors and patterns of formation of the chemical composition of the water of small watercourses // Tr. GGI. - Issue 102. – L.: Hydrometeoizdat, 1963. - pp. 120-135
6. Perelman A.I. Geochemistry of natural waters / A.I. Perelman. - M.: Nauka, 1982. - 154 p.
7. Korzh V.D. Geochemistry of the elemental composition of the hydrosphere / M.: Nauka, 1991. – 243 p.
8. Lozhnichenko O.V. Ecological chemistry / O.V. Lozhnichenko, I.V. Volkova, V.F. Zaitsev. – M.: Akademiya, 2008. – 272 p.
9. K. Sudalaimuthu. Geospatial visualization and seasonal variation of heavy metals in river sediments // Global Journal of Environmental science and management . -2023. -V.9, Iss. 2 - Ser. 34/ - P 309-322
10. Reshetnyak O.S., Kondakova M.Yu., Danilenko A.O., Kosmenko L.S., Reshetnyak V.N. Trends in the variability of the chemical composition of river waters of the European part of the Arctic zone of Russia// News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences. - 2019. - № 1 (201). - Pp. 86-94.
11. Linnik P.N. Bottom sediments of reservoirs as a potential

source of secondary pollution of the aquatic environment with compounds of heavy

metals / P.N. Linnik // Hydrobiol. Journal. - 1999. - vol. 35. - No. 2. - pp. 97- 109

12. Linnik P.N. Forms of migration of heavy metals and their effect on hydrobionts

/ P.N. Linnik // Experimental aquatic toxicology. - Riga: Znanie, 1986. - pp. 144-154

13. Brekhovskikh, V. F. Bottom sediments of the Ivankovo reservoir / V. F. Brekhovskikh, T. N. Kazmiruk, V. D. Kazmiruk. - M.: Nauka, 2006. - 253 p.

14. Forstner, U., Muler G . Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical back ground, man's influence and environmental impact // Geojournal, 1981. - pp. 417-432.

15. Dauvalter, V. A. Geoecology of bottom sediments of lakes / Murmansk: Publishing House of MSTU, 2012. - 242 p.

16. Dinkelaker N.Y., Dinkelaker N.V. Ecological state of small rivers of the Onega Peninsula//Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University - 2021. - VOL. 1. - № 1. - S. 106-109

17. Methodology for measuring the mass fraction of metals and metal oxides in powdered soil samples by X-ray fluorescence analysis M049-P/04 / - St. Petersburg: NPO Spektron LLC, 2002. - 46 p.

© Динкелакер Н.Ф.И., Агаханянц П.Ф., Динкелакер Н.В., Дидиков А.Е.,
Мешечко М.И., 2024. Московский экономический журнал, 2024, № 8.