

УДК 550.46:502/504

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СНЕГА НА СОСТАВ
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛОЙ РЕКИ
НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЛАПА В ДЕЛЬТЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ**

Котова Е.И., Мискевич И.В.

*ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва,
e-mail: ecopp@yandex.ru*

Для оценки роли снежного покрова в функционировании экосистем малых рек Арктики проведены исследования связи содержания тяжелых металлов в снежном покрове и в донных отложениях малой реки на примере р. Лапа, впадающей в дельту р. Северной Двины (бассейн Белого моря). Пробы отбирались в двух точках: в устье реки и в 0,5 км от нее выше по течению. Выявлено, что максимальное содержание среди исследуемых металлов в пробах донных отложений и снега отмечается для марганца, минимальное содержание – для свинца. Содержание кадмия в пробах донных отложений и снега практически повсеместно было ниже предела обнаружения. Вторую позицию по наибольшему загрязнению донных отложений и снега занимает цинк. При этом его содержание ненамного ниже содержания марганца. Наибольшее содержание загрязнителей в донных отложениях и снеге отмечалось на границе соприкосновения вод р. Лапы с водами дельты р. Северной Двины. Скорее всего, в период прилива более загрязненные воды Северной Двины поступают в устьевую часть р. Лапа и способствуют обогащению металлами донных отложений. Взвешенное вещество снега более обогащено цинком и свинцом, которые в первую очередь поступают от атмосферных выбросов, в том числе автотранспорта. Донные отложения отличаются более высоким содержанием меди и никеля.

Ключевые слова: малая река, Белое море, загрязнение, снег, донные отложения, тяжелые металлы, марганец

**INFLUENCE OF SNOW COMPOSITION ON THE COMPOSITION
OF BOTTOM SEDIMENTS IN A SMALL RIVER (USING THE LAPA RIVER
IN THE DELTA OF THE NORTHERN DVINA RIVER AS AN EXAMPLE)**

Kotova E.I., Miskevich I.V.

*Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: ecopp@yandex.ru*

To assess the role of snow cover in the functioning of ecosystems of small rivers in the Arctic, studies were conducted on the relationship between the content of heavy metals in the snow cover and in the bottom sediments of a small river using the example of the Lapa River (the delta of the Northern Dvina River (White Sea basin)). Samples were taken at 2 points: at the mouth of the river and 0.5 km from it upstream. The maximum content among the studied metals in samples of bottom sediments and snow is noted for manganese, the minimum content – lead. The content of cadmium in samples of bottom sediments and snow was almost everywhere below the detection limit. The second position in terms of the greatest pollution of bottom sediments and snow is occupied by zinc. At the same time, its content is not much lower than the content of manganese. The highest content of pollutants in bottom sediments and snow was noted at the border of contact between the waters of the river. Paws with the waters of the delta of the river. Northern Dvina. The more polluted waters of the Northern Dvina enter the wellhead part and contribute to the enrichment of bottom sediments with metals during the tide period. The suspended matter of snow is more enriched with zinc and lead, which primarily come from atmospheric emissions, including vehicles. Bottom sediments contain a higher content of copper and nickel.

Keywords: small river, White Sea, pollution, snow, bottom sediments, heavy metals, manganese

*Интерпретация результатов и частичный анализ проб выполнены за счет средств гранта
Российского научного фонда № 22-77-10074, <https://rscf.ru/project/22-77-10074>.*

Состав снежного покрова является одним из факторов, воздействующих на гидрохимический режим территории, и может оказать существенное влияние на состояние не только наземных, но и водных экосистем. Регионы с устойчивым снежным покровом особенно восприимчивы к изменению климата, поскольку небольшие изменения температуры или осадков могут привести к значительным изменениям характеристик залегания снежного покрова и, как следствие, состояния водных экосистем. Все вышесказанное приводит к выводу, что анализ изменений состава снежного покрова

и оценка влияния снежного покрова на подстилающую поверхность имеет особенную актуальность, особенно для арктических экосистем, так как позволяет оценить возможные последствия изменения нагрузки на экосистему.

Вклад снежного покрова в формирование геохимических ситуаций в реках и морях западного сектора российской Арктики может быть весьма существенен [1]. Снег накапливает значительное количество взвешенных частиц и растворенных веществ из атмосферы, которое может быстро высвободиться во время весеннего таяния

в форме ионного импульса [2]. Для водосборов Белого и Баренцева морей этот процесс особенно значим из-за особенностей атмосферной циркуляции в рассматриваемом регионе. Проходящие здесь циклоны несут осадки, которые формировались над Кольским полуостровом и западной Европой с наличием большого количества крупных промышленных объектов и, как следствие, обогащены загрязняющими веществами. Это, в частности, характерно для ряда тяжелых металлов [2–4]. И если общие черты влияния снега на загрязнение водных экосистем исследованы сравнительно хорошо [1, 5], то в локальном масштабе, особенно применительно к малым рекам и их устьям, это влияние изучено очень слабо.

Для оценки роли снежного покрова в функционировании экосистем малых рек Арктики и возможных последствий изменений характеристик снеготаяния в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой в 2022 г. Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН провело исследования связи содержания тяжелых металлов в снежном покрове и в донных отложениях р. Лапа.

Целью выполненных исследований было оценить влияние состава снега на накопление тяжелых металлов в донных отложениях малого водотока. Установление соотношений концентраций тяжелых металлов в снежном покрове и в донных отложениях в нижнем течении р. Лапа позволит определить наличие между ними какой-либо связи.

Материалы и методы исследования

Река Лапа является боковым правобережным притоком протоки Маймакса в дельте р. Северной Двины (водосбор Двинского залива Белого моря) (рис. 1). Она относится к так называемым малым рекам, имеет длину около 12 км и располагается в подзоне северной тайги. В зимний период р. Лапа практически полностью замерзает.

Первая точка отбора проб (1л) располагалась в месте впадения р. Лапа в протоку Маймакса р. Северная Двина, вторая точка отбора проб (2л) – на 0,5 км выше по течению. Работы проводились зимой и осенью 2022 г. Пробы донных отложений были отобраны в марте и в октябре. Отбор проб снежного покрова проводился в период максимального снегонакопления – март.

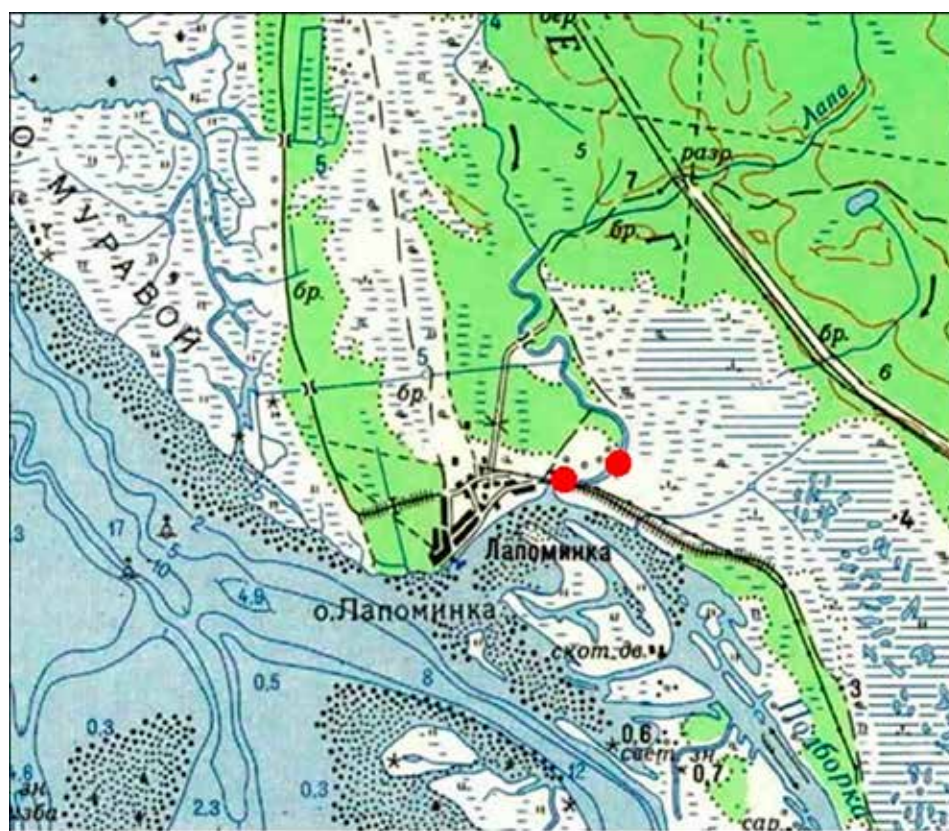


Рис. 1. Карта-схема участка работ на водосборе р. Лапа в дельте р. Северной Двины (красные кружки – точки отбора проб)

Пробы снежного покрова отбирались в пластиковую тару с помощью пластикового пробоотборника на всю глубину залегания (исключая самый нижний слой). В лаборатории пробы снега растапливали при комнатной температуре и фильтровали через предварительно взвешенные мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. В снеге определяли как растворимые формы металлов (в фильтрате), так и нерастворимые (в составе взвеси).

Пробы донных отложений отбирались со льда дночерпателем. В камеральных условиях перед анализом их предварительно высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм.

Пробы анализировались на содержание меди, кадмия, марганца, никеля, свинца, цинка атомно-абсорбционным методом.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты химического анализа рассматриваемых проб на содержание тяжелых металлов представлены в табл. 1.

Анализ полученных данных показал, что среди анализируемых металлов, как в пробах снега, так и в пробах донных отложений, преобладает марганец, как один из распространенных металлов в земной коре. Исключением в данном отношении является содержание нерастворимой формы цинка в пробе снега, отобранной в точке 1л. Эту концентрацию можно условно считать «выбросной» величиной малой повторяе-

мости. В остальных пробах цинк занимает вторую позицию по уровню содержания. При этом его содержание незначительно ниже содержания марганца.

Содержание кадмия в пробах донных отложений и снега практически повсеместно было ниже предела обнаружения. Присутствие кадмия в донных отложениях на уровне 4,8 мкг/кг определено лишь в точке 2л в весенний период. Следует отметить усиление токсичности тяжелых металлов при их совместном воздействии на живые организмы. Совместное воздействие цинка и кадмия или меди и кадмия оказывает в несколько раз более сильное ингибирующее действие на организмы, чем при такой же концентрации каждый элемент в отдельности.

Содержание свинца, который традиционно считается трассером техногенного влияния, в донных отложениях было ниже других выявленных поллютантов. При этом следует отметить, что наибольшее содержание свинца, как и других поллютантов, в донных отложениях отмечалось в точке 1л, на границе соприкосновения вод р. Лапы с водами дельты р. Северной Двины, испытывающими воздействие хозяйственной деятельности города и порта Архангельска. Скорее всего, в период прилива более загрязненные воды Северной Двины поступают в устьевую часть и способствуют обогащению металлами донных отложений. В снежном покрове свинец был определен только в нерастворимой форме в устьевой области реки.

Таблица 1

Характеристика содержания тяжелых металлов в снежном покрове и в донных отложениях р. Лапа

Номер точки	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Донные отложения, мг/кг (март 2022 г.)						
1л	н/о	11,8	130	23	6,7	56
2л	4,8	5,6	60	13	3,6	32
Донные отложения, мг/кг (октябрь 2022 г.)						
1л	н/о	9,2	65	17	7	64
2л	н/о	5,3	63	9,9	3,8	32
Снег/взвесь, мг/кг (март 2022 г.)						
1л	н/о	32	342	н/о	45	2011
2л	н/о	19	510	41	н/о	410
Снег/вода, мкг/л (март 2022 г.)						
1л	н/о	0,14	5,9	н/о	н/о	3,8
2л	н/о	0,14	3,7	н/о	н/о	1,2

В сезонной динамике содержания металлов в донных отложениях отмечено снижение концентраций марганца в два раза в донных отложениях в устьевой части в осенний период практически до уровня точки 2л. Одной из причин может являться тот факт, что в весенне-летний период влияние приливов и поступления загрязненных вод Северной Двины снижается и происходит самоочищение реки.

В характеристиках снежного покрова также прослеживается большее загрязнение снега в устьевой области р. Лапа. Это в первую очередь связано с влиянием хоть и небольшого, но жилого поселка Лапоминка. Общая минерализация талого снега в точке 1л составила 12,8 мг/л, в точке 2л – 9,3 мг/л. Общее содержание взвешенного вещества в снеге в обеих точках было примерно одинаково, 1,7–1,8 мг/л, но состав ее был разным. В точке 2л отмечено повышенное содержание марганца, поступающего, скорее всего, в составе природной пыли. А в точке 2л взвешенное вещество обогащено цинком, свинцом и медью.

Как показало исследование, взвешенное вещество снежного покрова более обогащено рассматриваемыми тяжелыми металлами, нежели донные отложения. Учитывая, что рН талого снега составлял 4,5–4,6 ед. рН, при таянии снега взвешенные формы могли переходить в растворимые, тем самым увеличивая концентрации растворимых форм. При этом содержание во взвеси меди, свинца и цинка также выше в устьевой части

реки. По данным нашего исследования в период снеготаяния в реки с тальми водами со льда попадет от 19 до 79 мг/м² взвешенного вещества. Таким образом, помимо вод Северной Двины источником поступления загрязнения в устьевую часть р. Лапа будут атмосферные выпадения, что еще больше усугубит ситуацию.

Тяжелые металлы наиболее опасны для окружающей среды в растворимой форме. Растворимые формы кадмия, никеля и свинца в снежном покрове не обнаружены. Сравнение полученных концентраций растворимых форм меди, марганца, цинка с предельно допустимыми концентрациями для водоемов рыбохозяйственного значения (Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552) показало отсутствие превышения допустимых норм.

На рис. 2 представлены концентрации тяжелых металлов в пробах снега и донных отложений на станции 2л, удаленной от контакта с дельтовыми водами. Обращает на себя внимание близость соотношений концентраций цинка и меди к концентрации марганца, как в пробе донных отложений, так и во взвеси и воде талого снега.

Преобладание марганца в рассматриваемых объектах дает основание для целесообразности рассмотрения безразмерных соотношений содержания исследуемых металлов к содержанию марганца, как наиболее характерного металла для данных проб. Результаты соответствующих расчетов представлены в табл. 2.

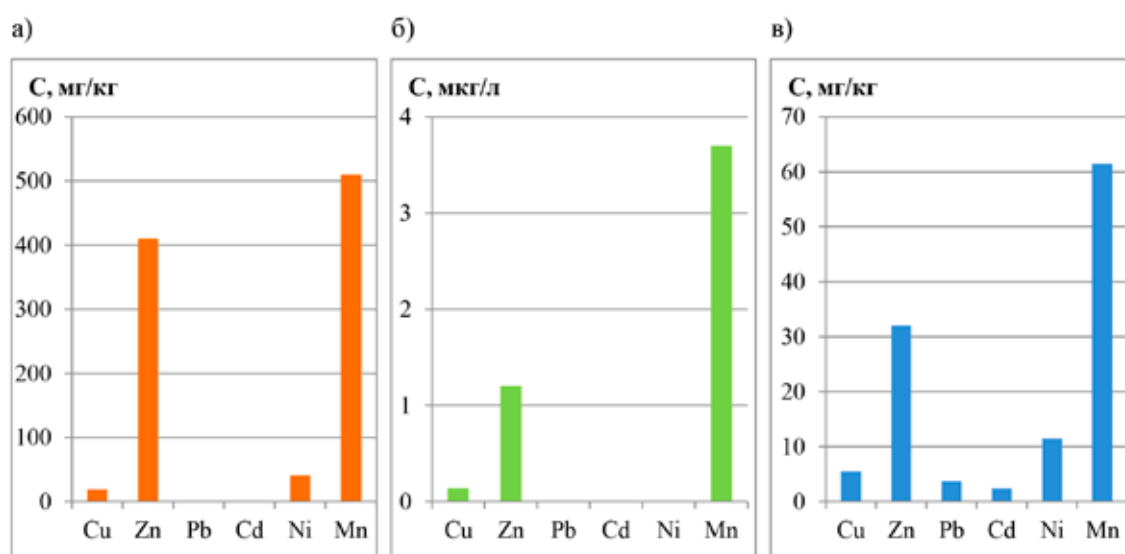


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове во взвешенном состоянии (а), в растворенном состоянии (б) и в донных отложениях (в) в р. Лапа в точке 2л в 2022 г.

Таблица 2

Отношения содержания тяжелых металлов к концентрации марганца в снежном покрове и в донных отложениях устья р. Лапа

Номер точки	Cd/Mn	Cu/Mn	Mn/Mn	Ni/Mn	Pb/Mn	Zn/Mn
Донные отложения (март 2022 г.)						
1л	0	0,091	1	0,177	0,052	0,431
2л	0,080	0,093	1	0,217	0,060	0,533
Донные отложения (октябрь 2022 г.)						
1л	0	0,142	1	0,262	0,108	0,985
2л	0	0,084	1	0,157	0,060	0,508
Снег/взвесь (март 2022 г.)						
1л	0	0,094	1	0	0,132	5,880
2л	0	0,037	1	0,08	0	0,804
Снег/вода (март 2022 г.)						
1л	0	0,024	1	0	0	0,644
2л	0	0,038	1	0	0	0,324

Содержание металлов относительно марганца в нерастворимом веществе снега, отобранном в устьевой точке, выше, чем отношения в донных отложениях здесь же в весенний период (за исключением никеля). В осенний период в донных отложениях в устьевой части р. Лапа отмечается рост содержания металлов относительно содержания марганца, в том числе из-за поступления данных загрязнителей с талыми водами.

Также можно сказать, что взвешенное вещество снега более обогащено цинком и свинцом, которые в первую очередь поступают от атмосферных выбросов, в том числе автотранспорта. Донные отложения содержат в себе более высокое содержание меди и никеля, поступающие в том числе в период приливов с загрязненными водами Северной Двины.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования дают возможность предположить, что содержание свинца и цинка в донных отложениях малых рек в рассматриваемом районе зависит от содержания этих металлов в снежном покрове. Помимо загрязненных вод р. Северной Двины, поступающих в устьевую область во время прилива, источником поступления загрязнения в устьевую часть р. Лапа будут являться атмосферные выпадения, что еще больше усугубит ситуацию. В свою очередь, накопление поллютантов в донных отложениях может не-

гативно сказаться на сообществах речного и устьевого зообентоса.

Влияние талых сильно загрязненных вод, образующихся при весеннем таянии снега, которое может оказать заметное негативное воздействие на водные биоценозы, обычно прослеживается только в течение сравнительно короткого периода (не более месяца). Негативное воздействие, которое формируют накопленные в донных отложениях тяжелые металлы, может наблюдаться несколько лет. Это, в частности, связано со слабым развитием весенних паводков на малых реках, которые не состоянием кардинально поменять характер донных отложений в течение сравнительно длительного времени. Также необходимо учитывать, что в устьях малых рек из-за узости водотока седиментация взвесей наблюдается практически по всей ширине водотока, тогда как в дельте р. Северной Двины накопление иловых частиц идет в виде узких полос на приливной осушке [6].

Разумеется, выдвинутые выше предположения носят предварительный характер. Для решения рассматриваемой проблемы планируется продолжить исследования наличия связей между загрязнением снежного покрова и донными отложениями водных объектов различного типа.

Список литературы

1. Krickov I.V., Lim A.G., Vorobev S.N., Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S. Colloidal associations of major and trace elements in the snow pack across a 2800-km south-north gradient of western Siberia // *Chemical Geology*. 2022. Vol. 610. No. 5. 121090. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2022.121090.

2. Vinogradova A.A., Kotova E.I. Metals in precipitation and lake waters in the North-West of Russia // *Russian Journal of General Chemistry*. 2016. T. 86. No. 13. P. 2965–2973.
3. Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К., Булохов А.В., Коробов В.Б., Яковлев А.Е. Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 2. С. 140–145.
4. Pin I., Rozovskaya O., Travnikov O., Varygina M., Aas W. Heavy Metals: Transboundary Pollution of the Environment. EMEP Status Report 2/2014. MSC-E&CCC, 2014. URL: http://www.msceast.org/reports/2_2014.pdf (дата обращения: 13.02.2023).
5. Williams M.W., Seibold C., Chowanski K. Storage and release of Solutes from a subalpine seasonal snowpack: soil and stream water response Niwot Ridge, Colorado. *Biogeochemistry*. 2009. No. 95 (1). P. 77–94.
6. Котова Е.И., Мискевич И.В., Нецветаева О.П. Особенности вертикальной структуры маргинального фильтра в устьях рек с устойчивым галоклином в зимний период на примере дельты Северной Двины // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 11. С. 61–65.