

Т.М. ОЙДУП, О.И. КАЛЬНАЯ, С.А. ЧУПИКОВА

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ СНЕГОВОГО ПОКРОВА ВЕРШИН ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ ТУВЫ

Настоящая статья посвящена изучению снегового покрова, отобранного на вершинах гор, обрамляющих Республику Тыва. Снег был опробован на четырёх вершинах, как близлежащих, так и достаточно удалённых от границ республики. В ходе работ исследован гидрохимический состав снеготалой воды и проведён анализ воздушного переноса загрязняющих компонентов, исследованы вероятные источники загрязнения воздушного бассейна и снегового покрова.

Ключевые слова: атмосферный перенос, снеговой покров, вершины гор, химический состав снеготалой воды, тяжёлые металлы, загрязняющие компоненты, ГИС.

Рис. 5. Табл. 2. Библ. 19 назв. С. 67–78.

Работа выполнена в рамках работ по Государственному заданию ТувИКОПР СО РАН: Научная тема № 121031300230-2

T.M. OYDUP, O.I. KALNAYA, S.A. CHUPIKOVA

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)

STUDY OF THE SNOW COVER OF THE MOUNTAIN PEAKS OF TUVA

The present article is devoted to the study of snow cover sampled on the mountains peaks framing the Republic of Tyva. Snow was sampled on four peaks, both nearby and quite distant from the borders of the republic. The hydrochemical composition of melt water was studied and an analysis of the atmospheric transport with polluting components was carried out, and probable sources of air basin and snow cover pollutions were studied within the work.

Keywords: atmospheric transport, snow cover, mountain peaks, chemical composition of melt water, heavy metals, polluting components.

Figures 5. Tables 2. References 19. P. 67–78.

ВВЕДЕНИЕ. Снеговой покров представляет собой слой снега на поверхности земли, возникающий вследствие осадков. Как и любые другие виды осадков, снеговые облака образуются за тысячи километров от места выпадения, способны переносить с собой вещества и элементы с отдалённых территорий. При этом, находясь уже на поверхности земли, могут вбирать в себя выбросы, которые происходят на месте выпадения. Таким образом, снеговой покров представляет собой «банк данных» о состоянии окружающей среды и района образования, и района нахождения.

Снег на вершинах гор на высоте от 2 тыс. м н. у. м. минимально подвержен антропогенному воздействию от окружающих объектов на месте нахождения, содержит в себе информацию о состоянии окружающей среды с места образования и по пути следования. Анализ состава снегового покрова, расположенного на горных высотах, может дать информацию, какие тяжёлые металлы и элементы были принесены в регион посредством снега. Тяжёлые металлы поступают в атмосферу и в результате природных факторов, и в ходе антропогенного воздействия, далее — в снеговой покров. По данным исследований тяжёлые металлы могут переноситься воздушными потоками на значительные расстояния: от 20–90 км (Мазур, 2022) до тысяч километров (Котова, 2019).

Анализ публикаций по теме исследования показал, что в работах советского периода большое внимание уделялось изучению снежного покрова с точки зрения об-

разования ледников и лавин¹. Обширный пласт работ гляциологов раскрывает состояние ледников в горах Кавказа, Алтая, Тянь-Шаня и др.². В современный период продолжают изучать состав снегового покрова, в т. ч. в городах с точки зрения экологии, для определения количества выбросов и потенциального вреда для жителей³. В зарубежных исследованиях можно отметить работы, изучающие горные массивы Альп, Гималаев. Напр., изучается состав снегового покрова Альп, и в ходе исследования выявлено содержание частиц пыли из пустыни Сахара⁴. В ледниках Гималаев определяют количество тяжёлых металлов и их присутствие в реках, которые берут своё начало на его склонах. Изучению снегового покрова, как в пределах урбанизированных территорий, так и на удалении от городов и поселений, в настоящее время посвящено достаточно много работ (Саввинова, Местникова, 2019; Стародымова, Шевченко и др., 2020; Стародымова, Поповичева и др., 2020; Топчая и др., 2021; Мазур, 2022; и др.). Изучается гидрохимический состав снеготалой воды и содержание в ней загрязняющих компонентов: тяжёлых металлов, нефтепродуктов. Снеговой покров в Туве изучался и ранее. Достаточно серьёзная работа выполнена сотрудниками Тувинской геологоразведочной экспедиции (ТГРЭ) в 1990 году в рамках экологических исследований г. Кызыла (Высотина, 1994), в ходе которой был детально изучен снеговой покров города и прилегающих окрестностей.

¹ *Снежный покров в горах и снежные лавины* // Материалы семинара по изучению снежного покрова в горах, снежных лавин и методов расчёта лавинных нагрузок (28–31.10.1968, Ташкент) / Под ред. канд. техн. наук Ю.Д. Москалёва. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 176 с.; *Снежный покров в горах и лавины*: Сб. ст. / Отв. ред.: К.Ф. Войтковский, М.Б. Дюргеров. – М.: Наука, 1987. – 151 с.; *Снежный покров, его распространение и роль в народном хозяйстве*: Сб. ст. / Отв. ред. докт. геогр. наук Г.Д. Рихтер. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. – 272 с.; *Снежный покров и лавины: теоретические и практические аспекты*: Колл. моногр. / Казаков Н.А., Генсировский Ю.В., Жируев С.П., Боброва Д.А., Казакова Е.Н., Кононов И.А., Лобкина В.А., Музыченко А.А., Рыбальченко С.В.; отв. ред.: А.И. Ханчук. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – 173 с.; *Работы Тянь-Шаньской физико-географической станции: Гляциология. – 1957–1958. – Фрунзе, 1958; Гляциология горных областей (снежный покров, ледники и лавины)* / Под ред. В.Г. Коновалова. – М.: Гидрометеиздат: Моск. отд-ние, 1987. – 136 с.

² *Шостакович В.Б.* Снежный покров в Восточной Сибири. – Иркутск, после 1917. – 12 с.; *Ревякин В.С.* Снежный покров и лавины Алтая. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1977. – 215 с.; *Дикин А.Н.* Снежный покров высокогорной зоны Киргизии. – Фрунзе: Илим, 1978. – 101 с.; *Снежный покров и лавины Казахстана*: Сб. ст. / Под ред. И.В. Северного, В.И. Попова. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 123 с.; *Коломыц Э.Г.* Снежный покров горно-таёжных ландшафтов севера Забайкалья. – М.; Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1966. – 183 с.; *Ледники, снежный покров и лавины в горах Казахстана*: Сб. ст. / Редкол.: А.П. Горбунов (отв. ред.), В.П. Благовещенский. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1989. – 224 с.; *Снежный покров и лавинная опасность Юго-Западного Прибайкалья* / Отв. ред. А.И. Сизиков. – Чита, 1973. – 145 с.

³ *Стародымова Д.П., Поповичева О.Б., Шевченко В.П., Кобелев В.О., Новигатский А.Н.* Региональное распределение загрязняющих веществ в снежном покрове индустриального арктического региона // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны: Расп. тез. докл. 2-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием (25–27.11.2020, Москва). – М.: Ин-т глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, 2020. – С. 110–112.; *Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 181 с.; *Макаров В.Н., Федосеев Н.Ф., Федосеева В.И.* Геохимия снежного покрова Якутии / Отв. ред. Н.П. Анисимова. – Якутск: ИМЗ, 1990. – 148 с.; *Немировская И.А.* Содержание и состав органических соединений в снежно-ледяном покрове Белого моря // Геохимия. – 2009. – № 4. – С. 415–427; *Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К., Лохов А.С., Яковлев А.Е.* Элементный состав рассеянного осадочного вещества снежного покрова Приморского района Архангельской области в марте 2019 г. // Международный научно-исследовательский журн. – 2020. – № 2–1 (92). – С. 111–119; *Саввинова М.Е., Местникова Н.Н.* Исследование загрязнённости снежного покрова на примере города Якутска // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 11. – С. 17–22.

⁴ *Telloli C., Chicca M., Pepi S. et al.* Saharan dust particles in snow samples of Alps and Apennines during an exceptional event of transboundary air pollution // Environmental Monitoring and Assessment. – 2018. – Vol. 190. – Article number: 37. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6412-6>; *Burn-Nunes L., Vallelonga P., Lee Kh., Hong S., Burton G., Hou Sh., Moy A., Edwards R., Loss R., Rosman K.* Seasonal variations in the sources of natural and anthropogenic lead deposited at the East Rongbuk Glacier in the high-altitude Himalayas // Science of The Total Environment. – July 2014. – Vol. 87. – No. 15. – P. 407–419. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.120>; *Jie Huangac, Shichang Kangba, Junming Guoad, Mika Sillanpääc, Qianggong Zhanga, Xiang Qinb, Wentao Dub, Lekhendra Tripaththead.* Mercury distribution and variation on a high-elevation mountain glacier on the northern boundary of the Tibetan Plateau // Atmospheric Environment. – October 2014. – Vol. 96. – P. 27–36.

В силу климатических условий, а именно присутствия устойчивого задымления в холодный период от систем отопления в г. Кызыле, учёные ТуВИКОПР СО РАН проводят систематический анализ состава снега и степени его загрязнения в черте города (Тасоол и др., 2014, 2016; Хомушку и др., 2016, Жданок, Хурума, 2019).

При выполнении работ по геоэкологическому мониторингу на горнодобывающих предприятиях, а также в ходе геологоразведочных работ (Кызыл-Таштыгский ГОК — ООО «Лунсин»; Каа-Хемский и Чаданский угольные разрезы — ТГРК; Ак-Сугское медно-молибденовое месторождение — Голевская горнорудная компания) сотрудниками института велись многолетние наблюдения за состоянием снегового покрова в районе вышеперечисленных территорий горнодобывающих предприятий. Полученные результаты отображены в соответствующих отчётах по хозяйственным работам, а также опубликованы в ряде статей (Кальная, Доможакова и др., 2013; Кальная, Аюнова и др., 2016; Кальная, Забелин и др., 2016).

Проведённое исследование, во-первых, станет продолжением работы учёных института по определению состава снега на территории Республика Тыва, во-вторых, внесёт вклад в исследование снегового покрова горных вершин. Таким образом, цель работы — изучить гидрохимический состав снегового покрова вершин горного обрамления Тувы и вероятность регионального атмосферного переноса химических элементов, в т. ч. тяжёлых металлов от промышленных предприятий Республики Тыва и соседних территорий.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА РАБОТ. Одним из авторов статьи, Т.М. Ойдуп, в период с января по июнь 2022 г. отобраны образцы снегового покрова с вершин гор, находящихся в близости от границ Республики Тыва и на её территории, на абсолютных отметках от 2300 до 3740 м. Одновременно были сделаны замеры температуры, высоты снегового покрова и других признаков, характеризующих погодные условия.

Снеготалая вода исследовалась в аналитической лаборатории «Дорсторойпроект» (заключение о состоянии измерений в лаборатории № 383-28/18, действительно до 24.02.2025 г.).

В пробах воды определяли ионный состав, минерализацию (М), водородный показатель (рН), общую жёсткость (Жо), содержание микрокомпонентов (цинк, медь, свинец, кадмий, никель, марганец, кобальт, хром, алюминий, ртуть) и нефтепродукты (нф). Всего 29 определяемых компонентов и 22 компонента для определения гидрохимического состава снеготалой воды.

Так как талые воды снегового покрова являются источником питания поверхностных водотоков (рек и ручьёв), то полученные результаты анализировались в соответствии с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) для вод рыбохозяйственных водоёмов (Перечень..., 1995).

При обработке и создании графических и картографических материалов использовался инструментарий ГИС-пакета ArcView GIS 3.2, программа CorelDraw, Adobe Photoshop v8.0 CS.

Расположение вершин, на которых отбирались пробы снега, отображены на *рисунке 1*.

Точка отбора 1 — проба снега отобрана 5 января 2022 г. на вершине Малый Борус в пределах Борусского хребта, имеющего субширотное простираие. Абсолютная отметка вершины — 2134 м (на карте не показана). Борусский хребет расположен на юге Красноярского края, в системе Западного Саяна, имеет чёткие очертания и несколько вершин, в т. ч. Малый и Большой Борус. Высшая точка — вершина Большого Боруса — составляет 2318 м (*см. рис. 1*). В пределах хребта преобладают среднегорные формы рельефа. Склоны хребта поросли тайгой, в привершинной части — кедровое редколесье.

В месте отбора пробы снег крупнокристаллический, сухой, рассыпчатый. Высота снегового покрова 10 см. Погодные условия: пасмурный день, температура днём -3°C,

ночью — -10°C , ветер юго-западный силой 1 м/с, давление 737–743 мм рт. ст., температура снегового покрова — -11°C .

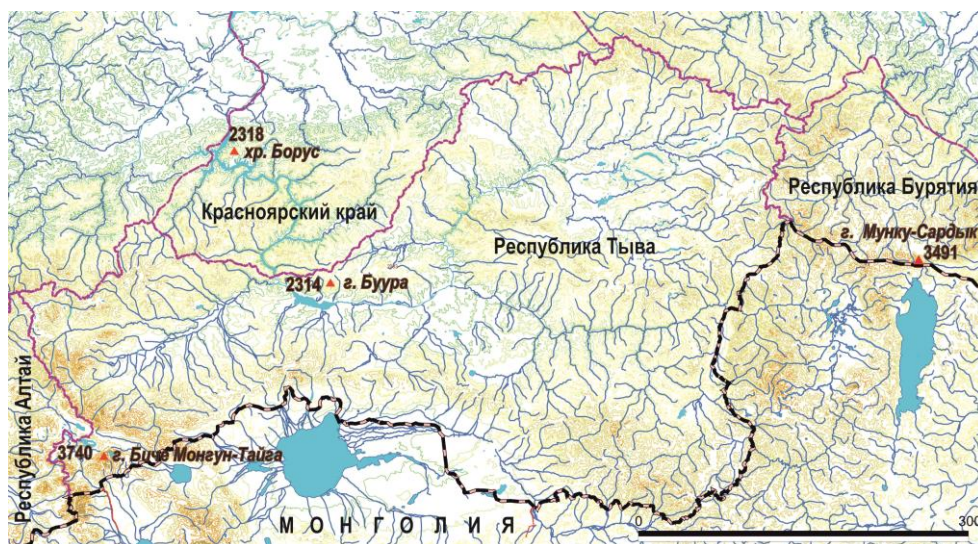


Рисунок 1. Расположение вершин, на которых производился отбор проб снега

Точка отбора 2 — проба снега отобрана 27 февраля 2022 г. на горе Буура, которая находится в Туве, в пределах Куртушибинского хребта. Абсолютная отметка вершины 2314 м (см. рис. 1).

Куртушибинский хребет расположен на границе Тувы и Красноярского края, представляет собой южную ветвь системы Западного Саяна и имеет субширотное простирание. Его протяжённость составляет около 200 км (от долины верхнего течения Енисея на западе до истоков реки Ус на северо-востоке). Вершины хребта округлые, уплощённые, склоны большей частью средней крутизны (Природные..., 1957).

В месте отбора пробы снег плотный, крупнозернистый, сухой. Высота снегового покрова 11 см. Погодные условия: ясный солнечный день, температура днём -5°C , ночью — -10°C , ветер восточный силой 3 м/с, давление 726–728 мм рт. ст., температура снегового покрова — -12°C .

Точка отбора 3 — проба снега отобрана 16 марта 2022 г. на вершине Мунку-Сардык. Абсолютная отметка вершины — 3491 м (см. рис. 1).

Мунку-Сардык — высочайшая вершина Саян, расположена восточнее Тувы на границе Бурятии (Россия) и Монголии. Одноимённое название имеет участок хребта Большого Саяна в районе вершины, состоящий из шести массивов, протяжённостью 14 км. Хребет Мунку-Сардык имеет явный альпийский рельеф, с горными долинами ледникового происхождения (Мунку-Сардык..., эл. ресурс).

В месте отбора пробы снег плотный, крупнозернистый, сухой. Высота снегового покрова 11 см. Погодные условия: ясный солнечный день, температура днём -32°C , ветер — штиль, давление 647–645 мм рт. ст., температура снегового покрова — -35°C .

Точка отбора 4 — проба снега отобрана 11 июня 2022 г. на вершине Биче-Монгун-Тайга. Абсолютная отметка вершины 3740 м (см. рис. 1).

Горный массив Монгун-Тайга расположен на юго-западе Тувы, в пределах которого выделяют вершины Монгун-Тайга (высотой 3969 м) и Биче-Монгун-Тайга (Малая Монгун-Тайга).

В месте отбора пробы снег плотный, крупнозернистый, сухой. Высота снегового покрова 8 см. Погодные условия: малооблачный день, температура днём $+26^{\circ}\text{C}$, ветер южный силой 3 м/с, давление 597–599 мм рт. ст., температура снегового покрова — 0°C . На рисунке 2 отображены условия отбора проб снегового покрова на вершинах.



гора Биче Монгун-Тайга (Республика Тыва)



гора Мунку-Сардык (Республика Бурятия)



гора Борус (Красноярский край)



гора Буура (Республика Тыва)

Рисунок 2. Отбор проб снегового покрова на вершинах

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В работе проанализировано перемещение загрязняющих веществ с воздушными массами, выявлены возможные источники загрязнения атмосферы и, соответственно, снегового покрова, отобранного на горных вершинах обрамления республики.

Как указывает Б.С. Смоляков (2013, с. 49): «...спецификой химического состава атмосферных осадков ... является малая минерализация, высокий окислительный потенциал, характер преобладающих ионов...». По данным многих исследователей снегового покрова, рН атмосферных осадков всегда ниже 7, и находится в среднем в пределах 5,0–6,0 (Никаноров, 2001).

Вышесказанное подтверждается результатами наших работ.

В *таблице 1* приведены основные гидрохимические показатели снеготалой воды с опробованных вершин.

Таблица 1. Гидрохимические показатели снеготалой воды

№ пробы	Место отбора	М, г/л	pH	Жо, мг-экв./л	Формула солевого состава	Тип воды по химическому составу
1	г. Малый Борус	0,05	5,63	0,05	$\frac{Cl_{178} \cdot HCO_3_{20} \cdot NO_3_{2}}{(Na + K)93 \cdot Ca7}$	Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые
2	г. Буура	0,02	5,42	0,10	$\frac{Cl_{150} \cdot HCO_3_{40} \cdot SO_4_{9} \cdot NO_3_{1}}{(Na + K)60 \cdot Ca_{17} \cdot Mg_{17} \cdot NH_4_{6}}$	Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые
3	г. Мунку-Сардык	0,04	5,33	0,05	$\frac{HCO_3_{42} \cdot Cl_{31} \cdot SO_4_{26} \cdot NO_3_{1}}{(Na + K)89 \cdot Ca_{11}}$	Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные натриевые
4	г. Биче Монгун-Тайга	0,02	6,48	0,05	$\frac{HCO_3_{48} \cdot Cl_{47} \cdot SO_4_{4} \cdot NO_3_{1}}{(Na + K)78 \cdot Ca_{16} \cdot NH_4_{6}}$	Хлоридно-гидрокарбонатные натриевые

Как видим, воды ультрапресные с минерализацией 0,02–0,05 г/л, водная среда — слабокислая (pH находится в пределах 5,33–6,48), по показателю жёсткости воды очень мягкие (0,05–0,10 мг-экв./л).

В книге «Гидрохимия» (Никаноров, 2001, с. 183) автор приводит следующие данные о формировании первичного химического состава снега в атмосфере: «химический состав капель и ледяных кристаллов в облаке представлен Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ». Сравнивая полученные нами данные, можно с уверенностью сказать, что химический состав талых вод снегового покрова с вершин соответствует атмосферным осадкам. Так выглядят ряды содержания основных анионов и катионов в отобранных пробах:

- на вершинах Борус и Буура: анионы $Cl^- \geq HCO_3^- \geq SO_4^{2-} \geq NO_3^-$; катионы $(Na^+ + K^+) \geq Ca^{2+} \geq Mg^{2+} \geq NH_4^+$;
- на вершинах Мунку-Сардык и Биче-Монгун-Тайга: анионы $HCO_3^- \geq Cl^- \geq SO_3^{2-} \geq NO_3^-$; катионы $(Na^+ + K^+) \geq Ca^{2+} \geq NH_4^+$.

По химическому составу воды гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые.

Содержание тяжёлых металлов и загрязняющих компонентов (нефтепродуктов) приведено в таблице 2.

Таблица 2. Содержание металлов и нефтепродуктов в снеготалой воде

№ пробы	Место отбора	Дата отбора (2022)	Содержание металлов и нефтепродуктов, мг/л (в скобках — единиц ПДК)										
			Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Mn	Co	Cr	Al	Hg	нф
1	г. Малый Борус	10.01	0,0045	0,0031	≤0,002	≤0,001	≤0,005	0,0037	≤0,005	≤0,005	0,012	≤0,0002	≤0,005
2	г. Буура	27.02	≤0,001	0,0037	0,0021	≤0,001	≤0,005	0,0026	≤0,005	≤0,005	0,013	≤0,0002	0,008
3	г. Мунку-Сардык	16.03	≤0,001	0,0030	≤0,002	≤0,001	≤0,005	≤0,002	≤0,005	≤0,005	≤0,01	≤0,0002	≤0,005
4	г. Биче Монгун-Тайга	11.06	0,0085	0,0089	≤0,002	≤0,001	≤0,005	0,0028	≤0,005	≤0,005	≤0,01	≤0,0002	0,007
	ПДК хим. элем., мг/л		0,01	0,001	0,006	0,005	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,0001	0,05

Примечание. Перечень..., 1995. Полу жирным шрифтом выделены содержания элемента, превышающие ПДК.

На рисунках 3, 4, 5 отображены точки отбора снегового покрова и действующие антропогенные объекты (месторождения полезных ископаемых, карьеры, ГОКи, автомобильные дороги), которые могут быть источниками загрязнения атмосферного

воздуха и, соответственно, снега, а также розы ветров в населённых пунктах, максимально приближенных к исследованным вершинам.

Из определяемых микрокомпонентов и нефтепродуктов было обнаружено 6 элементов с разным уровнем концентрации. Содержание Cd, Ni, Co, Cr, Hg указано ниже чувствительности прибора, то есть практически не обнаружено. Таким образом, для дальнейшего анализа были выделены шесть компонентов, по которым лабораторные данные подтвердили значимое присутствие (цинк, медь, свинец, марганец, алюминий и нефтепродукты).

Рассмотрим содержание тяжёлых металлов и нефтепродуктов на каждой вершине.

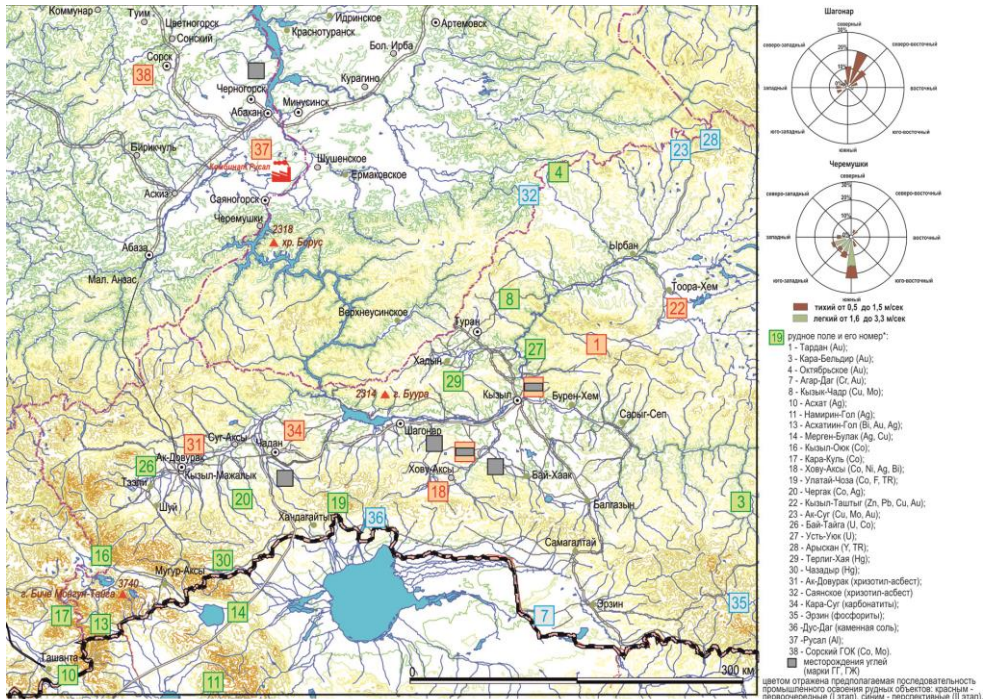


Рисунок 3. Расположение природных и антропогенных объектов в радиусе 300 км и более от вершин Борус и Буура

Гора Малый Борус. В снеговом покрове на вершине горы отмечено содержание цинка, марганца, алюминия, показатели по которым не превышают ПДК для вод рыбохозяйственного значения, за исключением меди, которая показала превышение в 3,1 раза (см. табл. 2).

На рисунке 3 отображена роза ветров в пос. Черёмушки (Республика Хакасия), расположенном в 17 км к северо-западу (по прямой) от вершины. Преобладающим направлением ветра является южное. Севернее вершины Борус, на расстоянии около 300 км расположен Сорский горно-обогатительный комбинат, разрабатывающий медно-молибденовое сульфидное месторождение. Сорский ГОК может быть источником поступления в атмосферу, а затем в снеговой покров ионов меди, цинка и марганца. Алюминий может быть привнесён на вершину с территории «РУСАЛ Саяногорский алюминиевый завод» (60 км к северу от вершины).

Гора Буура. В снеговом покрове в пределах ПДК определено содержание свинца, марганца, алюминия, нефтепродуктов. По содержанию превышение норм отмечается только для ионов меди (3,7 раза) (см. табл. 2).

Роза ветров приведена для г. Шагонара, расположенного в 25 км (по прямой) южнее г. Буура. Преобладающее направление ветров — северо-восточное, но, учиты-

вая глобальные передвижения атмосферных масс, в т. ч. и через Саянский хребет, можно ожидать переноса тяжёлых металлов в направлении с севера на юг. В данном случае, источником меди и марганца в снеговом покрове вершины может служить Сорский ГОК. Нефтепродукты и свинец (как составляющая нефтепродуктов) могут попадать на вершину благодаря близости федеральной трассы Р–257, проходящей в 50–60 км от вершины. Выхлопные газы, образующиеся от движения автотранспорта и содержащие частицы нефтепродуктов и свинца, могут переноситься на Куртушинский хребет, в т. ч. на вершину Буура, преобладающими северо-восточными ветрами (см. рис. 3).

Гора Мунку-Сардык. Из всех определявшихся компонентов в снеговом покрове г. Мунку-Сардык отмечено только содержание меди — 0,0030 мг/л, что в 3 раза выше ПДК (см. табл. 2). Надо отметить, что в окружении данной вершины в радиусе 200 км месторождения меди или какие-либо техногенные объекты, являющиеся источниками меди, отсутствуют. Ближайшим месторождением является Кызыл-Таштыгское сульфидное, полиметаллическое, где в настоящее время работает Кызыл-Таштыгский ГОК (китайская компания ООО «Лунсин»), расположенное западнее вершины, на территории Тувы, на расстоянии около 400 км. Преобладающее направление ветра (в соответствии с розой ветров для пос. Монды (Республика Бурятия) (см. рис. 4), является противоположным — северо-западным, т. е. направлено на запад, в сторону данного месторождения.

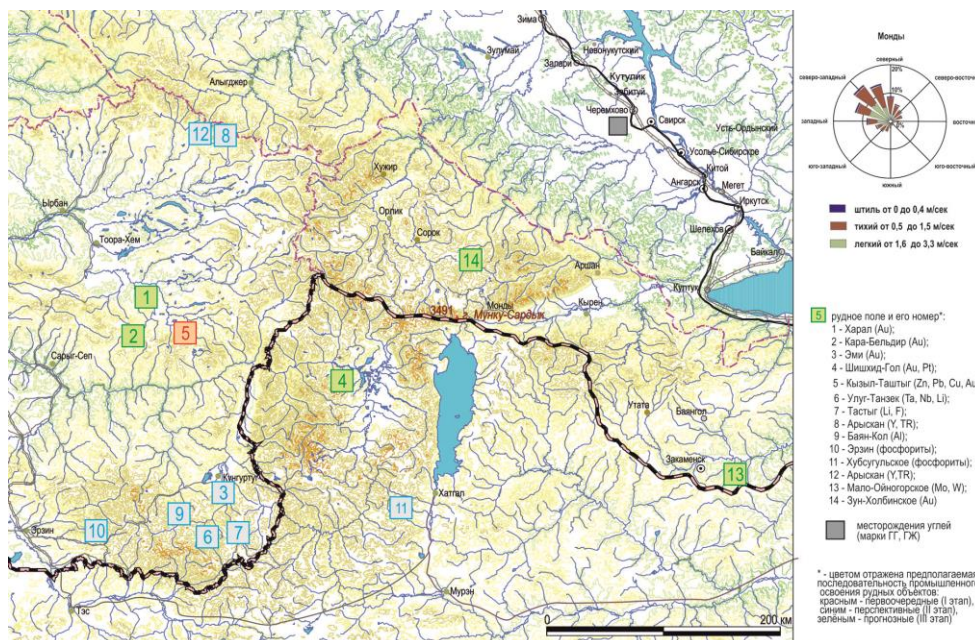


Рисунок 4. Расположение природных и антропогенных объектов в радиусе 300 км и более от вершины Мунку-Сардык

В данной работе мы рассматриваем практически только локальное передвижение воздушных масс и опираемся на приведённые розы ветров. Предполагаем, что в более высоких слоях атмосферы происходит атмосферный перенос в несколько других направлениях, и ионы меди могут быть привнесены с Кызыл-Таштыгского месторождения.

Гора Биче-Монгун-Тайга. В снеговом покрове данной вершины определены цинк, медь, марганец, нефтепродукты (см. табл. 2).

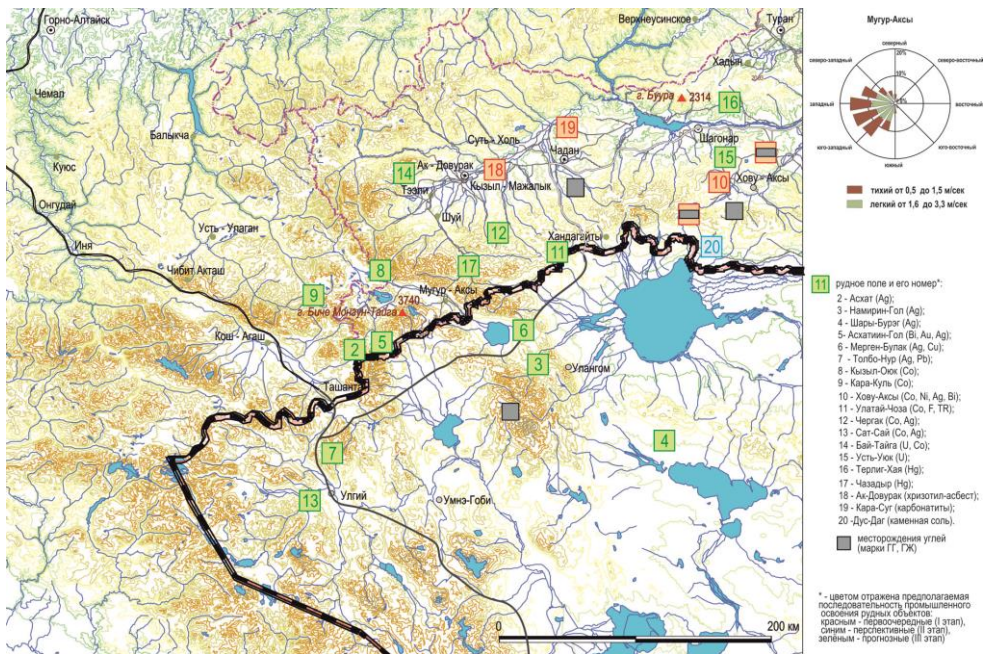


Рисунок 5. Расположение природных и антропогенных объектов в радиусе 300 км и более от вершины Биче-Монгун-Тайга

На этой вершине отмечено наибольшее содержание меди — 0,0089 мг/л, что в 8,9 раз превышает ПДК. Источниками поступления меди в снеговой покров вершины Биче-Монгун-Тайга может быть Моген-Буренское проявление с содержанием меди 13,67 % (Лебедев, 2012, с. 158) на правом берегу р. Моген-Бурен, которое расположено на высоте 3191 м, проявление Co, Cu, Bi, As вблизи западной границы Республики Тыва с Республикой Алтай, в верховьях р. Чулышман на высоте 3460 м (Лебедев, 2012, с. 130) и Мерген-Булакское сульфидное медно-золоторудное месторождение, расположенное в Монголии. Нефтепродукты могут быть привнесены на вершину со стороны пос. Кызыл-Хая, который расположен у подножия горы. В посёлке установлена гибридная энергоустановка. Она сочетает в себе дизельный генератор и солнечную электростанцию, которые могут использоваться попеременно в автоматическом режиме. Мощность солнечных модулей в пос. Кызыл-Хая 150 кВт, с расходом дизельного топлива 280 л в день. Ранее без использования солнечных панелей расход составлял до 800 л в день. Также нефтепродукты могут быть привнесены на вершину со стороны федеральной трассы Р-257 Кызыл–Хандагайты (в соответствии с розой ветров, см. рис. 5), а также с международной трассы Хандагайты (РФ)–Баян-Ульгий–Улангом–Улан-Баатор (МНР), проходящей по территории Монголии на расстоянии 100–120 км от вершины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Изучение снегового покрова горного обрамления Республики Тыва позволило получить представление: во-первых, о гидрохимическом составе снега на вершинах, которые окружают Туву с востока, севера и запада; во-вторых, благодаря полученным лабораторным результатам и соотношением их в геоинформационном пространстве с данными наземных объектов природного и антропогенного происхождения, а также розой ветров, характерной для каждой вершины, были сделаны вывод о возможных источниках воздушного переноса загрязнений.

Для данной территории выявлены повышенные концентрации меди, что может быть обусловлено, напр., выбросами загрязняющих веществ в процессе обжига, возможно при ветровом переносе тяжёлых металлов из отвалов предприятий, выветривании и т. д. Установлено, что в количественном отношении на вершине Буура обна-

ружено 5 элементов металлов, в пределах вершин Борус и Биче-Монгун-Тайга — по 4 элемента. Максимальные содержания тяжёлых металлов отмечены на г. Биче-Монгун-Тайга (меди — 8,9 ПДК, цинка — 0,85 ПДК). Анализ полученного материала выявил, что наименее загрязнённым является снеговой покров на вершине Мунку-Сардык (Бурятия), в ближайшем окружении которой практически отсутствуют какие-либо источники антропогенного загрязнения.

Исследование по выбранной методике проводилось впервые, результаты лабораторных данных и совмещение их с геоинформационным пространством Республики Тыва и прилегающих территорий могут стать основой для продолжения работ в данном направлении.

*Работа выполнена в рамках государственного задания
ТувИКОПР СО РАН: Научная тема 121031300230-2.*

ЛИТЕРАТУРА

- Высотина Л.Н.* Специализированные геолого-экологические исследования района г. Кызыла: Отч. гидрогеологической партии по работам 1991–1993 гг. – Кызыл: ТФГИ по Респ. Тыва, 1994. – 250 с. – Инв. № 2170.
- Жданок А.И., Хурума А.К.* Некоторые результаты математического моделирования загрязнения экосферы города Кызыла дымом ТЭЦ на примере ртути // Природные ресурсы, среда и общество: Электрон. науч. журн. [Электрон. ресурс]. – 2019. – № 4 (4). – С. 63–75. – Режим доступа: <http://tikopr-journal.ru/images/2019/04/ART/10.pdf>, свободный.
- Кальная О.И., Аюнова О.Д., Доможакова Е.А., Самбуу А.Д., Арчимаева Т.П., Забелин В.И.* Экологическая обстановка в пределах угледобывающих предприятий Тувы // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: Материалы IV Междунар. конф. (26–30.09.2016, Горно-Алтайск). – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2016. – С. 260–262.
- Кальная О.И., Забелин В.И., Арчимаева Т.П., Доможакова Е.А., Самбуу А.Д., Аюнова О.Д., Кенден О.А.* Влияние разработки Кызыл-Таштыгского полиметаллического месторождения (Восточная Тува) на компоненты окружающей среды // Материалы Всерос. конф. с междунар. участием «Эволюция биосферы и техногенез», VI Всерос. симп. с междунар. участием «Минералогия и геохимия ландшафта горно-рудных территорий» и XIII Всерос. чтения памяти акад. А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование», посвящ. 35-летию ИПРЭК СО РАН (22–28.08.2016, Чита) [Электрон. ресурс]. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2016. – С. 126–129. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_27421424_41077248.pdf, свободный.
- Котова Е.И.* Оценка влияния факторов на состав снежного покрова в Российской Арктике // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 10. – С. 158–163.
- Лебедев Н.И.* Минеральные ресурсы Тувы: обзор и анализ полезных ископаемых: Моногр. обзор / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2012. – 284 с.
- Мазур В.В.* Особенности переноса тяжёлых металлов воздушными массами // Вестн. Сыктывкарского ун-та. Серия 2: Биология, геология, химия, экология. – 2022. – № 3. – С. 78–85.
- Мунку-Сардык:* Материал из Википедии — свободной энциклопедии [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мунку-Сардык>, свободный.
- Никаноров А.Н.* Гидрохимия: Учебник. Изд. 2-е перераб. и доп. – СПб.: Гидрометеоздат, 2001. – 444 с.
- Перечень предельно-допустимых концентраций и ориентировочно-безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов.* – М.: Мединор, 1995. – 220 с.
- Природные условия Тувинской автономной области:* Тр. Тувинской компл. экспед. В 4 т. / Ред.: докт. геол.-мин. наук Л.Н. Леонтьев, канд. геогр. наук П.А. Шахунова. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – Т. 3. – 227 с.
- Саввинова М.Е., Местникова Н.Н.* Исследование загрязнённости снежного покрова на примере города Якутска // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 11. – С. 17–22.
- Смоляков Б.С.* Экологическая гидрохимия: Учеб. пособие. – Новосибирск, 2013. – 87 с.

- Стародымова Д.П., Поповичева О.Б., Шевченко В.П., Кобелев В.О., Новигатский А.Н. Региональное распределение загрязняющих веществ в снежном покрове индустриального арктического региона // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны: Расширенные тез. докл. 2-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием (25–27.11.2020, Москва). – М.: Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, 2020. – С. 110–112.
- Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К., Лохов А.С., Яковлев А.Е. Элементный состав рассеянного осадочного вещества снежного покрова Приморского района Архангельской области в марте 2019 г. // Международный научно-исследовательский журн. – 2020. – № 2–1 (92). – С. 111–119.
- Тас-оол Л.Х., Янчат Н.Н., Жданок А.И., Чупикова С.А. Загрязнение снежного покрова территории г. Кызыла // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2014. – № 6. – С. 507–517.
- Тас-оол Л.Х., Хомушку Б.Г., Чупикова С.А., Янчат Н.Н. Геохимические аспекты загрязнения окружающей среды г. Кызыла пылевыми частицами дымовых выбросов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2016. – № 6. – С. 531–542.
- Топчая В.Ю., Котова Е.И., Чечко В.А. Вклад трансграничного атмосферного переноса тяжелых металлов в загрязнение окружающей среды Калининградской области // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 9. – С. 65–69.
- Хомушку Б.Г., Тас-оол Л.Х., Чупикова С.А., Янчат Н.Н. Геоинформационное картографирование загрязнения снежного покрова территории города Кызыла // *Ceteris Paribus*. – 2016. – № 1–2. – С. 67–70.

REFERENCES

- Kal'naya O.I., Domozhakova Ye.A., Ayunova O.D., Zabelin V.I., Archimayeva T.P. Osobennosti khimizma snegovogo pokrova v predelakh gornykh otvodov ugol'nykh mestorozhdeniy Tsentral'no-Tuvinskoy kotloviny [Peculiarities of snow cover chemism within the mining allotments of coal deposits in the Central Tuva Basin]. *Biodiversity, environmental problems of Gorny Altai and adjacent regions: present, past, future: Proceedings of the III International Conference (01–05.10.2013, Gorno-Altaiisk)*. Gorno-Altaiisk, Gorno-Altaiisk State University Publ., 20163 pp. 236–240. (In Russ.)
- Kal'naya O.I., Ayunova O.D., Domozhakova Ye.A., Sambuu A.D., Archimayeva T.P., Zabelin V.I. Ekologicheskaya obstanovka v predelakh ugledobyvayushchikh predpriyatii Tuvy [Ecological situation within the coal mining enterprises of Tuva]. *Biodiversity, environmental problems of Gorny Altai and adjacent regions: present, past, future: Proceedings of the IV International Conference (26–30.09.2016, Gorno-Altaiisk)*. Gorno-Altaiisk, Gorno-Altaiisk State University Publ., 2016, pp. 260–262. (In Russ.)
- Kal'naya O.I., Zabelin V.I., Archimayeva T.P., Domozhakova Ye.A., Sambuu A.D., Ayunova O.D., Kenden O.A. Vliyaniye razrabotki Kyzyl-Tashtygskego polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Vostochnaya Tuva) na komponenty okruzhayushchey sredy [Environmental impact of the Kyzyl-Tashtyg polymetallic deposit (Eastern Tuva) exploration]. Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation «Evolution of the Biosphere and Technogenesis», the VI All-Russian Symposium with International Participation «Mineralogy and Geochemistry of the Landscape of Mining and Ore Territories» and the XIII All-Russian Readings in memory of Academician A.E. Fersman «Rational nature management», «Modern mineral formation», dedicated to the 35th anniversary of the IPREC SB RAS (August 22–28, 2016, Chita). Ulan-Ude, BNTs SB RAS Publ., 2016, pp. 126–129. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_27421424_41077248.pdf. (In Russ.)
- Khomushku B.G., Tas-ool L.Kh., Chupikova S.A., Yanchat N.N. Geoinformatsionnoye kartografirovaniye zagryazneniya snezhnogo pokrova territorii goroda Kyzyla [Geoinformation mapping of snow cover pollution in the city of Kyzyl]. *Ceteris Paribus*, 2016, no. 1–2, pp. 67–70. (In Russ.)
- Kotova Ye.I. Otsenka vliyaniya faktorov na sostav snezhnogo pokrova v Rossiyskoy Arktike [Assessment of influence factors on the composition of snow cover in the Russian Arctic Regions] *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya = Advances in current natural sciences*, 2019, no. 10, pp. 158–163. (In Russ.)
- Lebedev N.I. *Mineral'nyye resursy Tuvy: obzor i analiz poleznykh iskopayemykh* [Mineral resources of Tuva: overview and analysis of minerals resources] / ed. by. V.I. Lebedev. – Kyzyl: TuvI-ENRSB RAS, 2012, 284 p. (In Russ.)

- Mazur V.V. Osobennosti perenosa tyazholykh metallov vozduzhnymi massami [Features of the transfer of heavy metals by air masses]. *Vestnik Syktyv-karskogo universiteta = Bulletin of the Syktyvkar University*. Series 2: Biology, Geology, Chemistry, Ecology. 2022, no. 3, pp. 78–85. (In Russ.)
- Munku-Sardyk [Munku-Sardyk]: Material from Wikipedia. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Munku-Sardyk/>. (In Russ.)
- Nikanorov A.N. *Gidrokhiimiya* [Hydrochemistry]: Textbook. Ed. 2, revised and enlarged. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2001, 444 p. (In Russ.)
- Perechen' predel'no-dopustimyykh kontsentratsiy i oriyentirovochno-bezopasnykh urovney vozdeystviya vrednykh veshchestv dlya vody rybokhozyaystvennykh vodoyomov* [List of maximum permissible concentrations and approximately safe levels of exposure to harmful substances for the water of fishery reservoirs]. Moscow, Medinor Publ., 1995, 220 p. (In Russ.)
- Prirodnyye usloviya Tuvinskoy avtonomnoy oblasti* [Natural conditions of the Tuva Autonomous Region]: Proceedings of the Tuva Complex Expedition. In 4 volumes. Vol. 3 / ed. by.: L.N. Leontiev, P.A. Shakhunov. Moscow, Publ. Academy of Sciences of the USSR, 1957, 227 p. (In Russ.)
- Savvinova M.Ye., Mestnikova N.N. Issledovaniye zagryaznonnosti snezhnogo pokrova na primere goroda Yakutska [Study of snow cover pollution from case studies in Yakutsk]. *Pribory i sistemy. Upravleniye, kontrol', diagnostika = Devices and systems. Management, control, diagnostics*, 2019, no. 11, pp. 17–22. (In Russ.)
- Smolyakov B.S. *Ekologicheskaya gidrokhiimiya* [Ecological hydrochemistry]: Textbook. Novosibirsk, 2013, 87 p. (In Russ.)
- Starodymova D.P., Popovicheva O.B., Shevchenko V.P., Kobelev V.O., Novigatskiy A.N. Regional'noye raspredeleniye zagryaznyayushchikh veshchestv v snezhnom pokrove industrial'nogo arkticheskogo regiona [Regional distribution of pollutants in the snow cover of the industrial Arctic region]. *Monitoring of the state and pollution of the environment. Ecosystems and Climate of the Arctic Zone: Extended Abstracts of the 2nd All-Russian Scientific Conference with International Participation (25–27.11.2020, Moscow)*. Moscow: Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, 2020, pp. 110–112. (In Russ.)
- Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Belorukov S.K., Lokhov A.S., Yakovlev A.Ye. Elementnyy sostav rasseyannogo osadochnogo veshchestva snezhnogo pokrova Primorskogo rayona Arkhangel'skoy oblasti v marte 2019 g. [Elemental composition of the dispersed sedimentary matter of the snow cover of the Primorsky district of the Arkhangelsk region in March 2019]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Scientific Research Journal*, 2020, no. 2–1 (92), pp. 111–119. (In Russ.)
- Tas-ool L.Kh., Yanchat N.N., Zhdanok A.I., Chupikova S.A. Zagryazneniye snezhnogo pokrova terri-torii g. Kyzyla [Pollution of the snow cover within Kyzyl]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya = Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2014, no. 6, pp. 507–517. (In Russ.)
- Tas-ool L.Kh., Khomushku B.G., Chupikova S.A., Yanchat N.N. Geokhimicheskiye aspekty zagryazneniya okruzhayushchey sredy g. Kyzyla pylevymi chastitsami dymovykh vybrosov [Geochemical aspects of the environment pollution of Kyzyl by dust particles of smoke emissions]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya = Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2016, no. 6, pp. 531–542. (In Russ.)
- Topchaya V.Yu., Kotova Ye.I., Chechko V.A. Vklad transgranichnogo atmosfernogo perenosa tyazholykh metallov v zagryazneniye okruzhayushchey sredy Kaliningradskoy oblasti [The contribution of transboundary atmospheric transport of heavy metals to environmental pollution in the Kaliningrad region]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya = Successes of modern natural science*, 2021, no. 9, pp. 65–69. (In Russ.)
- Vysotina L.N. Spetsializirovannyye geologo-ekologicheskkiye issledovaniya rayona g. Kyzyla [Specialized geological-environmental studies of Kyzyl's area]: Report of the Hydrogeological Expedition during 1991–1993 work period. Kyzyl, Tuvan branch of The Federal Subsoil Use Agency, 1994, 250 p. (In Russ.)