

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ ГЕОЭКОЛОГИИ,
ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ
ИНСТИТУТ ГЕОЭКОЛОГИИ ИМ. Е.М. СЕРГЕЕВА РАН

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ЭКОЛОГИЯ». ДИАЛОГ ПОКОЛЕНИЙ

Выпуск 22

Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(24 марта 2020 г.)

Москва
Российский университет дружбы народов
2020

УДК 502/504:551.345(063)
ББК 20.1+26.1+26.35/36
С32

Редакционная коллегия:
В.И. Осипов (ответственный редактор),
О.Н. Еремина (ответственный секретарь),
Е.В. Булдакова, В.Г. Заиканов, И.В. Козлякова,
Н.Г. Мавлянова, П.С. Микляев, И.А. Позднякова,
В.С. Путилина, Д.О. Сергеев

С32 Сергеевские чтения : геоэкологические аспекты реализации национального проекта «Экология». Диалог поколений. Вып. 22 : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (24 марта 2020 г.). – Москва : РУДН, 2020. – 424 с. : ил.

ISBN 978-5-209-09956-7

В сборнике опубликованы доклады, представленные на двадцать вторую ежегодную конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева (г. Москва, 24 марта 2020 г.). Чтения, включавшие пленарное заседание и молодежную сессию, были посвящены обсуждению научных аспектов реализации национального проекта «Экология» и проходили под названием «Геоэкологические аспекты реализации национального проекта «Экология». Диалог поколений». В соответствии с обсуждавшимися на конференции темами сборник включает разделы: техногенное загрязнение природных сред и оценка экологического состояния территорий; проблемы безопасного размещения твердых коммунальных отходов; геоэкологические проблемы криолитозоны; развитие методов изучения свойств мерзлых грунтов; вопросы грунтоведения и инженерной геодинамики в решении экологических задач; гидрогеоэкологические проблемы подземной гидросферы; экологическое состояние поверхностных водных объектов.

Издание предназначено для специалистов, студентов и аспирантов в области инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии.

УДК 502/504:551.345(063)
ББК 20.1+26.1+26.35/36

ISBN 978-5-209-09956-7

© Научный совет РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии,
© Коллектив авторов, 2020
© Российский университет дружбы народов, 2020

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕГА В РАЙОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**А.Ю. Опекунов, М.Г. Опекунова, С.Ю. Кукушкин,
И.А. Арестова, Е.Ю. Елсукова**

Санкт-Петербургский государственный университет, 199178, Санкт-Петербург, ВО,
10-я линия, 33/35. E-mail: a_opekunov@mail.ru

Одним из приоритетных направлений национального проекта «Экология» является реализация Федерального проекта «Чистый воздух», включающего инструментальные обследования загрязнения атмосферного воздуха. Интегральным показателем состояния воздушной среды служит химический состав снега. Он дает представление о характере поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух, их составе и интенсивности миграции в компонентах ландшафта при таянии снега [1, 8, 7].

Активная циклональная деятельность на северо-западе Европейской территории России способствует перемещению и рассеиванию загрязняющих веществ вблизи крупных промышленных центров Карелии и Кольского полуострова. Здесь на протяжении многих лет ведущими источниками техногенного загрязнения окружающей среды служат горнорудные предприятия, расположенные на Кольском полуострове (г. Мончегорск) и в Северной Карелии (г. Костомукша). Несмотря на значительное снижение в последние годы объемов выбросов, они остаются основными источниками эмиссии поллютантов в регионе. Большой интерес в связи с этим представляет изучение состава аэрозолей, содержания металлов в снеговой воде и во взвеси, их подвижности, интенсивности аэротехногенного потока, а также влияния на него природных и антропогенных факторов. Ранее атмосферные осадки изучались в районе г. Мончегорска [4, 9, 11, 12, 13] и г. Костомукши [2, 3, 10].

Исследования снежного покрова проводились в северной Карелии (северо-таежные ландшафты) в районе Костомукшского месторождения железной руды и Костомукшского горно-обогатительного комбината (ГОК) ОАО «Карельский окатыш» (Костомукшский полигон). Разработка Костомукшского месторождения, представленного железистыми кварцитами, кристаллическими сланцами различного состава и геллефлинтами, ведется с 1982 г. Среди вскрышных пород значительную часть составляют гранитоиды. Предприятие перерабатывает около 35 млн. т железной руды в год и производит железорудные окатыши с содержанием железа 65-66,5%. Выбросы предприятия в атмосферу в 2018 г. составили 77 тыс. т веществ. В пылевых эмиссиях заметно преобладает железо, а радиус максимальных объемов выпадения химических веществ составляет 10 км. В 20 км западнее комбината на границе с

Финляндией находится Костомукшский государственный заповедник. Для оценки потоков металлов отбор снега осуществлялся в непосредственной близости к ГОК, в г.Костомукша и на территории заповедника, расположенных западнее ГОКа.

Второй участок (Мончегорский полигон) находится на Кольском полуострове в зоне влияния комбината «Североникель» на границе северной тайги и горной тундры. Металлогению района определяют базит-гипербазитовые интрузии. Главными рудными минералами являются пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит. Основные компоненты руд: никель, медь, кобальт. В настоящее время комбинат «Североникель» перерабатывает обогащенный медно-никелевый концентрат и фэйнштейн, поступающие с комбината «Печенганикель» и с ОАО «ГМК «Норильский никель». Это крупнейшее предприятие цветной металлургии в Европе. Валовые выбросы в атмосферу в 2017 г. составили 44,2 тыс.т с большим количеством Ni, Cu, Co и др. металлов.

В районе г. Мончегорска отобрано 6 проб снега. Отбор осуществлялся с учетом преобладающих северных ветров: две точки отбора проб располагались в пределах городской черты, остальные четыре представляют профиль, вытянутый в южном направлении на расстояние более 30 км вдоль трассы Санкт-Петербург – Мурманск. Оба полигона находятся под воздействием городской инфраструктуры и транспорта, соответственно г. Костомукша и г. Мончегорск.

Пробы снега отбирали в 2019 г. снегомером ВС-43 в сроки, обеспечивающие максимальную высоту снежного покрова в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89: в Карелии – 6 апреля, на Кольском полуострове – 8 апреля. Глубина снежного покрова составила 0,40-0,83 м и 0,6-1,35 м, а период его залегания на полигонах – 133 и 139 дней соответственно. Число кернов снега в пробе определялось, исходя из условия получения общего объема воды в одной пробе 2,0-2,2 дм³. Сразу после отбора снег растапливался при t=18-20°C, и талая вода фильтровалась через предварительно взвешенные мембранные фильтры размером 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм.

Анализ содержания металлов (Fe, Pb, Zn, Mn, Ni, Cu, Cd) в твердых аэрозолях и в воде проведен в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе «ELAN-6100 DRC». Минерализация воды определялась кондуктометрическим методом. Анализ содержания сульфат-иона в снеговой воде выполнен турбидиметрическим методом на фотоэлектроколориметре. Концентрация хлоридов, аммония, ионов калия и натрия измерялась с использованием ионно-селективных электродов.

Пылевая нагрузка (кг/км² в сутки) в точках отбора проб рассчитывалась по формуле [5]:

$$P_{\text{п}} = m / (n \times 5 \times 10^{-9}),$$

где m – масса взвеси на фильтре, кг; n – число отобранных проб снега в точке; l – число дней снегостава; 5×10^{-9} – площадь сечения снегоотборника, км^2 .
Метальная нагрузка, т.е. масса поступающего на поверхность снежного покрова металла в составе твердых аэрозолей ($\text{мкг}/\text{м}^2$ в сутки), определялась по формуле:

$$P_{\text{м}} = P_{\text{п}} C / 1000,$$

где C – концентрация элемента во взвеси, $\text{мкг}/\text{кг}$.

Расчет ионной нагрузки, представляющей собой количество растворенного металла в снеговой воде, приходящегося на единицу площади изучаемой территории в сутки ($\text{мкг}/\text{м}^2$ в сутки), осуществлялся с учетом запаса воды в снеге на изученных полигонах зимой 2018-2019 гг. по формуле:

$$P_{\text{и}} = h \rho_{\text{с}} \times 5 \times 10^{-3} C / l S \rho_{\text{в}}$$

где h – высота снежного покрова (м); $\rho_{\text{с}}$ – плотность снега ($\text{г}/\text{м}^3$); $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды ($\text{г}/\text{м}^3$); S – единица площади (м^2); C – концентрация металла в воде ($\text{мкг}/\text{м}^3$); 5×10^{-3} – площадь сечения снегоотборника, м^2 .

Максимальное содержание твердых аэрозолей обнаружено в пробах снега вблизи ГОК «Карельский окатыш» (522 $\text{мг}/\text{л}$), превышающее в 62,5 раза концентрацию их в снеге на территории Костомукшского заповедника (8 $\text{мг}/\text{л}$). Медианное значение пылевой нагрузки для проб Костомукшского полигона составляет 28,5 $\text{кг}/\text{км}^2$ сут., Мончегорского – 30,7 $\text{кг}/\text{км}^2$ сут. С приближением к источнику выбросов ее величина растет, например, с 9,2 $\text{кг}/\text{км}^2$ сут. в заповеднике до 576 $\text{кг}/\text{км}^2$ сут. на северной границе промплощадки ГОКа.

В изученных пробах обнаружено большое количество микропластика; обращает на себя внимание высокое его содержание на территории Костомукшского полигона, особенно в пределах заповедника.

Содержание тяжелых металлов в твердых аэрозолях отражает рудную специализацию изученных районов: в пробах Мончегорского полигона отмечается максимальная концентрация Ni, а вблизи Костомукши – Fe.

Минерализация снеговой воды вблизи Костомукши составляет 8,1 $\text{мг}/\text{л}$, в районе Мончегорска – 16,5 $\text{мг}/\text{л}$; значение pH изменяется соответственно в пределах 4,85-6,92 и 4,10-5,61, что отражает общие зонально-географические особенности территории. Содержание растворенных форм металлов в снеговой воде обладает высокой дисперсией (табл. 1).

Исследования показали, что метальная нагрузка изменяется в широких пределах. В целом она пропорциональна пылевой нагрузке; максимальные показатели (до 108 $\text{мкг}/\text{м}^2$ сут.) отмечены вблизи Костомукшского ГОК. В отличие от растворенных форм, в твердой фазе основная доля принадлежит Fe (от 60% до 100%), особенно в образцах Костомукшского полигона. В районе г. Мончегорска вблизи комбината «Североникель» увеличивается доля

Ni и Cu; твердые аэрозоли имеют Cu-Ni-Fe специализацию, а вклад Fe составляет более 56%.

Максимальная ионная нагрузка установлена на Мончегорском полигоне с диапазоном величин 262-10929 мкг/м² сут. На этой территории выделяется участок вблизи комбината, где величина нагрузки на порядок превосходит все остальные результаты. Вклад в ионную нагрузку металлов в этом районе отражает ряд: Zn>Ni>Cu>>Fe>>Pb>Mn>>Cd. Более низкие показатели установлены в Костомукшском районе (112 до 761 мкг/м² сут), а ряд металлов по вкладу представлен последовательностью: Fe>>Zn>>Mn>Cu>Ni> Pb>Cd.

Таблица 1

Содержание металлов в снеговой воде и в твердой фазе аэрозолей

Параметры	Содержание металлов в снеговой воде, мкг/л						
	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Костомукшский полигон							
Медиана	11,6	69,2	1,545	3,96	33,75	0,033	1,24
Минимум	4,47	13,7	1,04	2,49	13,5	0,02	0,91
Максимум	26,2	376	4,57	6,4	96	0,042	1,6
Условно-фоновое значение	10,0	13,7	1,65	5,03	42,9	0,032	1,35
Мончегорский полигон							
Медиана	4,3	42,2	79,7	51,0	181	0,09	2,42
Минимум	2,1	15,2	9,6	10,6	42,9	0,062	1,54
Максимум	6,6	82,7	1050	415	1560	0,20	12,8
Условно-фоновое значение	3,9	30,9	9,6	10,6	47,9	0,062	1,54
Содержание в аэрозолях, мг/кг							
Костомукшский полигон							
Медиана	244	71470	103	132	384	0,445	40,6
Минимум	132	15960	22,3	22	48,6	0,005	4,7
Максимум	403	186900	524	313	609	0,9	79,4
Условно-фоновое значение	287	15960	152	203	609	0,58	41,7
Мончегорский полигон							
Медиана	507,5	43715	5150	1211,5	192	0,445	82,95
Минимум	232	20790	513	162	107	0,1	23,2
Максимум	682	52010	33100	3480	872	0,85	301
Условно-фоновое значение	682	48160	806	331	107	0,16	25,9

Проведенные исследования свидетельствуют об изменениях в геохимических показателях снежного покрова. Отмеченное ранее подкисление снега вблизи комбината [6], вызванное обогащением сульфидных руд и многотоннажными выбросами SO₂, в настоящее время не выражено. Однако возросла доля растворенных металлов. Кроме того, использование норильского

файнштейна привело к значительному росту концентрации Zn в снежном покрове.

Метальная нагрузка вблизи Костомукшского ГОКа почти полностью обусловлена Fe и почти на два порядка превосходит нагрузку на Мончегорском полигоне. В пределах заповедника отмечается снижение содержания металлов за счет уменьшения Fe. Однако концентрация в снежном покрове Zn и Cu выше, чем в г.Костомукша, а содержание Pb и Cd сопоставимо с городом. Как отмечалось выше, в снеге заповедника обнаружено большое количество микропластика, превышающее показатели по г.Костомукша. В целом, отсутствие геохимической связи с источником эмиссии, рост содержания в снежном покрове Zn и Cu, а также микропластика позволяют говорить о влиянии на территорию заповедника западного переноса с территории скандинавских и других европейских стран, что согласуется с выводами в работе [2].

Литература

1. Бортникова С.Б., Рапута В.Ф., Девятова А.Ю., Юдахин Ф.Н. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирск) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 6. С. 515-525.
2. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Антропогенные загрязнение природных сред в районе Костомукшского заповедника (Карелия) при дальнем переносе аэрозольных примесей в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. 2011. 24. № 6. С. 493-501.
3. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Загрязнение воздушной среды в центральной Карелии при дальнем переносе антропогенных примесей в атмосфере // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 5. С. 98-108.
4. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Салтан Н.В., Семенов Е.Н. Влияние выбросов горно-металлургического комбината на химический состав атмосферных выпадений (Мончегорский полигон) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 3. С. 228-240.
5. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в восточном округе Москвы // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 4. С. 14-24.
6. Моисеенко Т.И., Родюшкин И.В., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П. Формирование качества поверхностных вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водосборы арктического бассейна. Апатиты, 1996. 263 с.
7. Шевченко В.П., Воробьёв С.Н., Кирпотин С.Н., Крицков И.В., Манасыпов Р.М., Покровский О.С., Политова Н.В. Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби // Оптика атмосферы и океана. 2015. № 28 (6). С. 499-504.
8. Callaghan T.V., Johansson M., Brown R.D., Groisman P.Ya., Labba N., Radionov V., Bradley R.S., Blangy S., Bulygina O.N., Christensen T.R., Colman J.E., Essery R.L.H., Forbes B.C., Forchhammer M.C., Golubev V.N., Honrath R.E., Juday G.P., Meshcherskaya A.V., Phoenix G.K., Pomeroy J., Rautio A., Robinson D.A., Schmidt N.M., Serreze M.C., Shevchenko V.P., Shiklomanov A.I., Shmakin A.B., Sköld P., Sturm M., Woo M., Wood E.F. Multiple effects of changes in Arctic snow cover. *Ambio*. 2011, 40 (S1), p. 32–45. DOI: 10.1007/s13280-011-0213-x.
9. De Caritat P., Ayras M., Niskavaara H., Chekushin V.A., Bogatyrev I., Reimann C. Snow composition in eight catchments in the central Barents Euro-Arctic Region. *Atmospheric Environment* 1998, 32 (14-15), 2609-2626.

10. *Feoktistov V.M., Lazareva I.P.* Snow contamination caused by an ore-dressing mill. Acidification of inland waters. Helsinki, 1994. P. 51-60.
11. *Gregurek D., Reimann C., Stumpfl E. F.* Mineralogical fingerprints of industrial emissions – an example from Ni mining and smelting on the Kola Peninsula, NW Russia. Sc. Total Environ. 1998, 221, p. 189-200.
12. *Gregurek D., Melcher E., Pavlov V. A., Reimann C., Stumpfl E. F.* Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia. Miner. Petrol., 1999, 65, p. 87-111.
13. *Kashulina G., Caritat P., Reimann C.* Snow and rain chemistry around the «Severonikel» industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis. Atmosph. Environ. 2014, 89, p. 672-682.

ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

И.Г. Петрова, Ю.В. Клокова, И.В. Абатурова

Уральский государственный горный университет, 620014, г. Екатеринбург, ул. Хохрякова,
д. 85А. E-mail: Julia.kloкова@mail.ru

Масштабные работы по разработке месторождений россыпного золота приводят к преобразованию и трансформации всех компонентов природной системы. Такие процессы развиты во многих золоторудных областях и районах Российской Федерации.

Целью исследований является оценка изменений окружающей среды на различных этапах освоения месторождений золота и прогноз возможных изменений при развитии дальнейшей деятельности. Объектом исследований было выбрано месторождение россыпного и рудного золота в Иркутской области. В процессе исследований решались следующие задачи:

- оценка воздействия на природные компоненты (ландшафты, почвы, атмосферный воздух, поверхностные воды) на определенных этапах освоения месторождения;
- анализ показателей компонентов окружающей среды для определения интенсивности воздействия и степени трансформации;
- прогноз изменения природной системы в процессе освоения месторождения.

Перспективность дальнейшей разработки золоторудного месторождения определяет актуальность исследований. Факт того, что в районе сосредоточено 95% россыпного и рудного золота области обуславливает значительный минерально-ресурсный потенциал района исследований. Несмотря на то, что освоение района началось более чем 150 лет назад, в 1864 г., он остается перспективным с точки зрения дальнейшего освоения, при наличии развез-