

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ

УДК 504.06(571.56)

doi: 10.31857/S2076673420010024

Геохимия снежного покрова в зоне влияния запуска ракеты-носителя (Якутия)

© 2020 г. В.Н. Макаров^{1*}, Л.С. Волкова²¹Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия;²Республиканский информационно-аналитический центр экологического мониторинга, Якутск, Россия

*vnmakarov@mpi.ysn.ru

Geochemical properties of snow on the areas influenced by falling parts of the rocket carriers (Yakutia)

V.N. Makarov^{1*}, L.S. Volkova²¹Institute of Permafrost Studies, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia;²Republican Information and Analytical Center for Environmental Monitoring, Yakutsk, Russia

*vnmakarov@mpi.ysn.ru

Received September 23, 2018 / Revised February 26, 2019 / Accepted March 22, 2019

Keywords: areas of falling of rockets separated parts, ecologists, geochemistry, snow cover.

Summary

Results of ecological and geochemical study of snow cover on the areas of the fall of the separating parts of the launch vehicles Soyuz-2 are discussed. The territories are the Aldan and Vilyuysky districts of Yakutia. The state of the environment was investigated at the sites in both situations, i.e. before the launch and after the fall of the separating parts of the rocket carriers. The background chemical composition of the snow cover in these regions is hydrocarbonate and ultra-fresh with low concentrations of trace elements. After the launch and fall of the rocket stages, the total chemical composition of snow remained bicarbonate, but the content of the elements P, Fe, Sr, Pb and phenols increased on the territory of the Aldan district, while in the Vilyuysky districts increasing elements were Fe, Sr, Pb, Li, Al, Mn and phenols. Pollution of the snow cover with metals and organic compounds was revealed directly under the fragments of the rocket stages, however occurrence of this contamination was limited to the radius of influence no longer 100 m. The larger low-contrast technogenic anomalies were related to Pb and phenols. The qualitative and quantitative characteristics of technogenic anomalies did rapidly reduce with distance from fragments of the rocket carriers. When snow melts, the main part of the pollutants flows down over the frozen ground to the water streams and bodies, and that is why no contrasting technogenic lithochemical anomalies were found in the soils under the fragments. Thus, our results demonstrate that the negative environmental impact on the environment in the areas of falling fragments of the Soyuz-2 carrier is limited to boundaries of the local territory and does not present any significant hazard to the environment and the health of population.

Citation: Makarov V.N., Volkova L.S. Geochemical properties of snow on the areas influenced by falling parts of the rocket carriers (Yakutiya). *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2020. 60 (1): 77–84. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673420010024.

Поступила 23 сентября 2018 г. / После доработки 26 февраля 2019 г. / Принята к печати 22 марта 2019 г.

Ключевые слова: геохимия, районы падения отделяющихся частей ракет, снежный покров, экология.

В районах падения отделяющихся частей ракеты-носителя «Союз-2» на территории Якутии исследован снежный покров на мониторинговых площадках до запуска и после падения отделяющихся частей ракеты-носителя, когда в снежном покрове формируются аномалии металлов и органических соединений. Негативное экологическое воздействие на природную среду в районах падения остатков ракеты ограничено локальными территориями.

Введение

Один из приоритетов современного общества – обеспечение экологической безопасности человека. Проблемам обеспечения экологиче-

ской безопасности ракетно-космической деятельности посвящён ряд исследований последних лет [1–3]. При запусках ракет происходит негативное воздействие на окружающую среду в основном в местах падения отделяющихся ча-



Рис. 1. Районы падения фрагментов ракеты-носителя на территории Якутии:

1 – граница Республики Саха (Якутия); 2 – районы падения фрагментов ракет: а – Алданский (район падения 983); б – Вилюйский (район падения 985)

Fig. 1. The areas of the fall of rocket fragments on the territory of Yakutia:

1 – the border of the Republic (Sakha) of Yakutia; 2 – areas of falling of rocket fragments: а – Aldan (district of falling 983); б – Vilyuisky (district of falling 985)

стей ракет. Районы падения отделяющихся частей ракеты-носителя (ОЧРН) расположены в таёжной местности, далеко от населённых пунктов. Для таких районов характерны: засорение территории фрагментами отделяющихся частей ракеты; локальная техногенная трансформация ландшафтов; загрязнение атмосферы, водных объектов и почвы компонентами ракетного топлива и продуктами его сгорания [3]. Трасса для выведения космических аппаратов на солнечно-синхронную орбиту с углом наклона 98° при запусках с космодрома «Восточный» проходит над Амурской областью и Республикой Саха (Якутия). На территории Якутии эпизодически используют три района падения ОЧРН «Союз-2»: 983 – для приёма головного обтекателя в Алданском районе и 985 – для приёма центрального блока и хвостового отсека третьей ступени ракеты-носителя на территории Вилюйского и Кобяйского районов. Падение отделяющихся частей ракеты-носителя «Союз-2» с космодрома «Восточный» на территории Якутии вызывает закономерную тревогу общественности.

В статье рассматриваются последствия падения ОЧРН на химический состав снежного покро-

ва в Алданском и Вилюйском районах до запуска и после падения отделяющихся частей ракеты-носителя «Союз-2» (рис. 1). Район падения 983 представляет собой эллипс с размерами большой оси 45 км и малой 25 км; район падения 985 имеет размеры соответственно 75 и 50 км. В 2018 г. Республиканским информационно-аналитическим центром экологического мониторинга Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия) совместно с научными учреждениями республики, Институтом водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул), представителями муниципальных образований и Общественного экологического комитета «Вилюй» проведено пред- и послепусковое экологическое обследование в районах падения ОЧРН ракеты-носителя «Союз-2».

Материалы и методы исследования

Экологическая ситуация в районах падения ОЧРН исследовалась на основе сравнения геохимических данных, полученных до и после падения отделяющихся частей ракеты-носителя. Эколого-геохимическое обследование снежного покрова в районах падения выполнено на территории мониторинговых площадей, охватывающих полностью районы падения 983 (площадь около 880 км^2) и 985 (площадь около 2900 км^2), а также непосредственно на участке обнаружения фрагмента третьей ступени ракеты-носителя на территории района падения 985. До запуска ракеты-носителя «Союз-2» было отобрано девять проб снега в районе 983 (26.01.18 г.) и восемь проб в районе 985 (29.01.18 г.). После падения ОЧРН в тех же районах отобрано соответственно 22 и 11 проб снега (1–6.02.18 г.).

Объединённую пробу получали смешиванием пяти образцов керна снега. В пунктах наблюдений измерены толщина и плотность снега, определён водный эквивалент снежного покрова. Толщина снежного покрова ввиду антициклонального режима погоды сравнительно невелика – 20–25 см. Плавление снега проведено в лаборатории при комнатной температуре непосредственно перед анализом. Аналитические исследования выполнены в аккредитованных лабораториях Республиканского информационно-аналитического центра экологического мониторинга и Института мерзлотоведения СО РАН.

Пробы талой снеговой воды исследовались на содержание: макрокомпонентов, биогенных элементов (фосфаты, аммоний, нитрит- и нитрат-ионы), общего железа, рН, Eh; органических загрязнителей – нефтепродукты (НП), фенолы (Ф), бенз(а)пирен (БП); микроэлементов – Sr, Li, F, Cu, Zn, Mn, Al, Cd, Ni, Pb. Определение контролируемых геохимических показателей выполнено современными методами (потенциометрический, капиллярный электрофорез, фотометрический, флуориметрический, атомно-абсорбционный и жидкостной метод хроматографии), внесёнными в Государственный реестр методик, допущенных для государственного и производственного экологического контроля. Экологическая оценка содержания компонентов в снежном покрове проведена по санитарным нормам для природных вод: рыбохозяйственных – ПДК_{РХ} и санитарно-гигиенических – ПДК_{ГГ}.

Результаты и обсуждение

Для снежного покрова всех типов среднетаёжных мерзлотных ландшафтов Якутии, распространённых в районах исследований, характерно идентичное соотношение главных ионов: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$; $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^- > \text{K}^+$ [4]. Падение отделяющихся частей ракеты-носителя на территории Вилюйского и Алданского районов Якутии не привело к трансформации макрокомпонентного состава снежного покрова. Минерализация талых снеговых вод очень низкая – 4–9 мг/л. Величина рН колеблется в диапазоне 5,35–7,01 и соответствует значениям незагрязнённых атмосферных осадков [5–9]. По соотношению главных ионов снеговые воды относятся к гидрокарбонатно-магниевым-кальциевым. В то же время наблюдаются существенные изменения в химическом составе снежного покрова, связанные с повышением концентрации органических соединений (нефтепродуктов, фенолов) и комплекса микроэлементов (табл. 1).

Состав геохимических аномалий, образовавшихся в снежном покрове районов мониторинга после падения ОЧРН, и степень их контрастности обнаруживают как сходство, так и различия, что определяется различным составом фрагментов: район падения 983 – головной обтекатель, а район падения 985 – центральный блок и хвостовой отсек.

Общее для районов мониторинга – повышение содержания в снежном покрове после падения ОЧРН таких компонентов, как фенолы, Fe, Sr и Pb. Индивидуальные черты загрязнения отмечаются в возникновении аномалий фосфатов в Алданском районе (район падения 983) и широкой гаммы компонентов Li, Al, Mn и, возможно, Cd в Вилюйском районе (район падения 985). Присутствие слабоаномальных концентраций Li, Mn и Cd в снежном покрове отмечалось и ранее при выполнении экологического мониторинга района 985 в 2016 г. [1].

Для оценки влияния падения ОЧРН на химический состав снежного покрова в Вилюйском районе отобраны пробы снега непосредственно под обломками третьей ступени ракеты-носителя и на удалении 10 и 100 м от фрагмента (табл. 2). Непосредственно под фрагментами ОЧРН в снежном покрове наблюдаются аномальные концентрации 11 компонентов: Sr, K, Cu, Zn, Al, Cd, Ni, Pb, БП, Ф, НП, причём дальнейшего рассеяния не наблюдается у таких металлов, как Sr, Zn, Ni. На удалении 10 м установлены аномальные концентрации восьми компонентов: F, K, Cu, Mn, Al, Pb, Ф, НП, а на расстоянии 100 м – только четырёх: Pb, БП, Ф, НП. Максимальное рассеяние характерно для органических соединений (Ф, НП) и свинца.

Концентрация фенолов в снежном покрове у фрагментов ОЧРН составляет 0,0031 мг/л, что в 10 раз выше фоновых значений (0,0013 мг/л), и остаётся относительно постоянной на расстоянии 10 м – 0,0036 и 100 м – 0,0028 мг/л. Если предположить, что содержание фенолов будет и дальше равномерно снижаться по мере удаления от места падения фрагментов, то уровень значений санитарных норм (ПДК_{РХ} = 3 мг/л) будет достигнут на расстоянии 300–350 м (рис. 2), а площадь загрязнения составит 0,283 км². Концентрация нефтепродуктов в снежном покрове резко понижается с удалением от фрагментов ОЧРН: у обломков – 0,064, на расстоянии 10 м – 0,047, 100 м – 0,028 мг/л. Однако и на расстоянии 100 м концентрация нефтепродуктов остаётся ещё высокой и может достигать фоновых значений – 0,023 мг/л на удалении около 220 м от фрагментов ОЧРН, а площадь загрязнения можно оценить в 0,152 км² (рис. 3). Непосредственно у фрагментов концентрация нефтепродуктов превышает рыбохозяйственные санитарные нормы, но уже на расстоянии 10 м становится ниже ПДК_{РХ}.

Таблица 1. Среднее содержание компонентов в снежном покрове на территории мониторинговых площадей, мг/л

Компоненты*	Алданский район (район падения 983)		Вилуйский район (район падения 985)	
	до запуска ракеты-носителя «Союз-2»	после падения ОЧРН	до запуска ракеты-носителя «Союз-2»	после падения ОЧРН
	26.01.2018 г.	01.02.2018 г.	29–30.01.2018 г.	01–06.02.2018 г.
pH	5,86	5,78	6,01	6,00
Eh	571	558	572	572
M	6,21	6,34	7,69	7,20
Sr	0,002	0,008	0,008	0,013
Li	0,0012	0,0016	0,0010	0,0010
F	0,018	0,020	0,036	0,016
P	0,004	0,079	0,158	0,072
Ca	0,85	0,79	1,09	0,98
Mg	0,57	0,53	0,71	0,68
Na	0,30	0,32	0,37	0,32
K	0,13	0,08	0,14	0,13
NH ₄	0,11	0,04	0,09	0,08
HCO ₃	5,42	5,61	7,23	6,93
SO ₄	0,36	0,25	0,36	0,32
Cl	0,39	0,29	0,47	0,30
NO ₂	0,02	0,01	0,02	0,02
NO ₃	0,62	0,44	0,59	0,61
Fe	<0,050	0,055	<0,050	0,054
Cu	0,0012	0,0015	0,0013	0,0016
Zn	0,0045	0,0031	0,0057	0,0037
Mn	0,0066	0,0048	0,004	0,0117
Al	0,011	0,0126	<0,010	0,0166
Cd	0,00007	0,00005	<0,0001	<0,0001
Ni	0,00141	0,0016	0,0014	0,0016
Pb	0,00088	0,0021	0,0022	0,0027
Ф	0,0009	0,0018	0,0013	0,0025
НП	0,026	0,036	0,023	0,029
БП	Не опр.	0,00104	Не опр.	0,0004

*В табл. 1–4: Ф – фенолы; НП – нефтепродукты; БП – бенз(а)пирен.

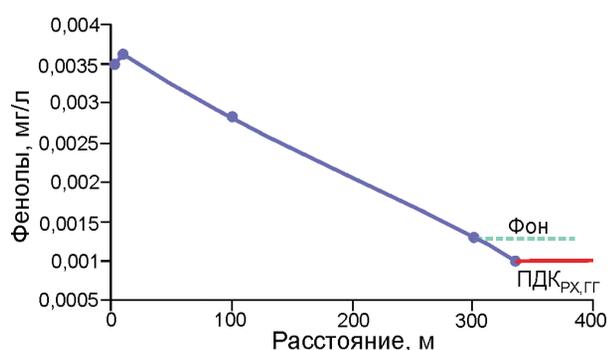


Рис. 2. Изменение концентрации фенолов в снежном покрове на удалении от фрагментов отделяющихся частей ракеты-носителя (район падения 985, на рис. 1, б): Предельно-допустимая концентрация для природных вод: ПДК_{ГГ} – гигиеническая; ПДК_{РХ} – рыбохозяйственная

Fig. 2. Changes in the concentration of phenols in the snow cover at a distance from fragments of the separating parts of the launch vehicles fall region (district of falling 985, in Fig. 1, б).

Maximum permissible concentration for natural waters: ПДК_{ГГ} – hygienic; ПДК_{РХ} – fishery

Максимальные значения концентрации свинца (0,059 мг/л) в снежном покрове наблюдаются непосредственно у фрагментов ОЧРН, где они в 2–6 раз превышают как гигиенические (ПДК_{ГГ}), так и рыбохозяйственные (ПДК_{РХ}) нормы для природных вод и в 27 раз выше фоновых значений (см. табл. 2). В 10 м от обломков содержание Pb снижается почти на порядок (до 0,0052 мг/л), выходит за пределы санитарных норм и остаётся практически на этом уровне, слабо понижаясь до 0,0049 мг/л в 100 м от обломков ракеты. По расчётам, концентрация Pb может снизиться до уровня санитарных норм примерно в 900 м от фрагмента ОЧРН (рис. 4). Экологически значимый уровень загрязнения снежного покрова нефтепродуктами и свинцом, превышающий санитарные нормы, установлен непосредственно у фрагмента ОЧРН и ограничивается площадью около 300 м².

Ряды контрастности, превышения максимального содержания в снежном покрове вбли-

Таблица 2. Содержание компонентов в снежном покрове на участке падения фрагмента отделяющихся частей ракеты-носителя (район падения 985), мг/л

Компоненты	Под фрагментом отделяющихся частей ракеты-носителя	В 10 м к северу от района падения	В 100 м к северу от района падения	Фон
Минерализация	8,46	7,31	11,77	7,69
Sr	0,40	0,001	0,001	0,008
F	0,002	0,035	0,016	0,036
K	0,20	0,20	0,10	0,14
Cu	0,0021	0,0015	< 0,0010	0,0013
Zn	0,0450	< 0,0050	< 0,0050	< 0,005
Mn	0,0077	0,0118	0,00279	0,0031
Al	0,0282	0,0154	< 0,010	< 0,010
Cd	0,0010	0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Ni	0,0025	0,0011	0,0014	0,0014
Pb	0,0590	0,0052	0,0049	0,0022
Ф	0,0031	0,0036	0,0028	0,0013
НП	0,0640	0,0470	0,0282	0,0230
БП	0,0009	< 0,0005	0,0009	< 0,0005

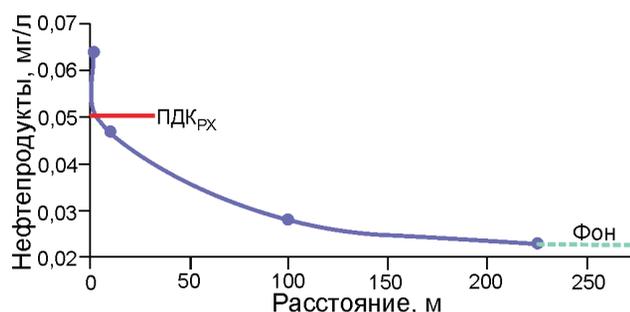


Рис. 3. Изменение концентрации нефтепродуктов в снежном покрове на удалении от фрагментов отделяющихся частей ракеты-носителя (район падения 985, на рис. 1, б)

Fig. 3. Changes in the concentration of oil in the snow cover at a distance from fragments of separating parts of launch vehicles (district of falling 985, in Fig. 1, б)

зи фрагментов ОЧРН, по сравнению с фоновыми показателями и санитарными нормами (ПДК) приведены в табл. 3. Непосредственно у фрагментов загрязнение снега очень высокое и достигает трёх–четырёх порядков над фоновыми показателями для нефтепродуктов и Cd и в 2–6 раз выше санитарных норм для фенолов, Pb, Zn и Cu, однако уже на удалении 10 м концентрация этих компонентов снижется до фоновой. На расстоянии 100 м от фрагмента превышение санитарных норм в 2,8 раза свойственно только фенолам. Присутствие фенолов в снежном покрове, вероятно, вызвано не только техногенными, но и природными процессами. К естественным источникам относится поступление фенола

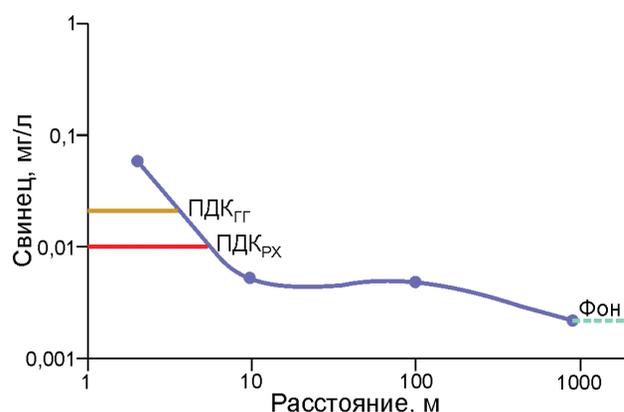


Рис. 4. Изменение концентрации Pb в снежном покрове на удалении от фрагментов отделяющихся частей ракеты-носителя (район падения 985, на рис. 1, б)

Fig. 4. Changes in Pb concentration in snow cover at a distance from fragments of separating parts of launch vehicles (district of falling 985, in Fig. 1, б)

с частицами пыли и с выделениями в атмосферу растительностью вместе с другими органическими соединениями [10]. Значительно загрязняется атмосфера фенолами и при лесных пожарах.

Экологически значимое загрязнение снежного покрова (атмосферы) на участках падения фрагментов ракет в основном ограничивается радиусом влияния около 100 м (~0,03 км²). Более обширные малококонтрастные техногенные аномалии, обусловленные выпадением свинца, фенолов и возможно бенз(а)пирена, распространяются на площади до 5 км². Для оценки количества загрязнителей в снежном покрове у

Таблица 3. Ряды контрастности геохимических аномалий в снежном покрове по сравнению с фоном и санитарными нормами (район падения 985)*

Ряды контрастности ($C_{max}/\text{Фон}$)	
НП, Cd(5000) > K(30) > Mn(20) > Ca(17) > Mg(13) > Sr, Cl(10) > Ba, N(8) > Al, Pb, S(0,9)	
Ряды контрастности ($C_{max}/\text{ПДК}$)	
ПДК _{ГГ}	БП(174) > Ф(3,1) > Pb(2) > Cd(0,96) > Al, Sr, Zn, Ni, НП(0,0n) > Mn, Cu(0,00n)
ПДК _{РХ}	Pb(5,9) > Zn(4,5) > Ф(3,1) > Cu(2,1) > НП(1,3) > Mn(0,8) > Ni(0,25) > K(0,004)

* C_{max} – максимальное содержание; в скобках – контрастность аномалий.

фрагмента ОЧРН и за их пределами была рассчитана плотность накопления химических компонентов Q по формуле

$$Q = 10^{-2}cP, \text{ мг/м}^2,$$

где c – концентрация компонента, мг/л; P – влагозапас, мм.

Плотность накопления химических компонентов в снежном покрове оценена на участке падения ОЧРН непосредственно под фрагментом (обломки центрального блока и хвостового отсека третьей ступени ракеты-носителя) и на удалении в 10 и 100 м (средняя плотность – 0,134 г/см³, влагозапас – 40 мм), а также по фоновым пробам, отобраным в пределах мониторинговой площадки (табл. 4). Наиболее обширный комплекс аномальных компонентов и максимальная их контрастность свойственны снежному покрову непосредственно у фрагмента ОЧРН. На расстоянии 100 м от обломков по максимальной контрастности плотности накопления в снежном покрове химические компоненты образуют следующую группу (в скобках дана контрастность аномалий относительно фона): БП (9,5) > Ф, Pb (2,2) > НП (1,3) > Zn, Mn, Al, Cd, Ni (1). По расчётам, общий объём компонентов, концентрация которых в снежном покрове превышает санитарные нормы и для которых определён радиус влияния (фенолы, нефтепродукты и свинец), в контуре ореолов загрязнения непосредственно у фрагмента ОЧРН составляет: фенолы – 31, нефтепродукты – 2,4, свинец – 0,06 г. Экологически значимые концентрации этих загрязнителей будут рассеяны на площади от 300 м² до 0,28 км².

На территории района падения 985 обнаружено восемь обломков ОЧРН, и если допустить, что концентрация компонентов в снежном покрове и площадь их воздействия примерно такие, как и на изученном фрагменте, то суммарный

объём выпавших загрязнителей составит: фенолы – 248, свинец – 0,5, нефтепродукты – 27 г. При этом максимальная площадь загрязнения у свинца будет 2,24 км², примерно 0,08% территории района падения 985 (2900 км²). Такое количество загрязнителей существенно не повлияет на экологическое состояние почв и природных вод. Основная масса растворимых форм химических элементов в снежном покрове при его таянии не попадает в почвы, а стекает по ещё мёрзлому почвенному покрову [7] в водоёмы и водотоки. При таянии снега непосредственно перед разрушением снежного покрова вымываются 30–70% ионов [8], поэтому в почвах под фрагментами отделяющихся частей ракет не образуется контрастных, многокомпонентных и обширных техногенных литохимических аномалий. По данным авторов настоящей статьи, уже на расстоянии 10–50 м от обломков ступеней ракет концентрация загрязнителей в почвах не превышает санитарных норм. Тем не менее, участки локальных литохимических аномалий должны быть ликвидированы (санитированы) в летнее время одновременно с удалением фрагментов ОЧРН.

В водотоках и водоёмах, особенно в небольших озёрах, возможно формирование малоконтрастных и малопротяжённых гидрогеохимических аномалий, не угрожающих существенно окружающей среде [1]. Основные объёмы загрязнителей, накопившихся в снежном покрове (менее 1 кг), будут стекать в р. Тюнг, дренирующую район падения ОЧРН, и будут разбавлены до исчезающе малых величин при среднесуточном расходе реки в весеннее половодье 1090 м³/с [11]. Таким образом, негативные последствия на природную среду отделяющихся частей ракеты-носителя «Союз-2» (районы падения 983 и 985) на территориях Алданского и Вилюйского районов незначительны и не представляют опасности для окружающей среды и

Таблица 4. Плотность накопления компонентов в снежном покрове на участке падения отделяющихся частей ракеты-носителя (район падения 985), мг/м²

Компоненты	Под фрагментом отделяющихся частей ракеты-носителя	В 10 м к северу от района падения	В 100 м к северу от района падения	Фон
Минерализация	34 010	29 390	47 320	30 918
Sr	1610	4	4	32
F	8	141	64	144
K	800	800	400	560
Cu	8	6	4	5
Zn	181	4	4	4
Mn	31	47	11	12
Al	113	62	20	20
Cd	3,9	0,4	0,2	0,2
Ni	10	4,5	5,5	5,5
Pb	237	21	20	9
Ф	12,5	14	11	5
НП	257	189	113	90
БП	3,5	0,4	3,8	0,4

здоровья населения. Этот вывод совпадает с данными долгосрочного (2006–2014 гг.) экологического мониторинга падения отделяющихся частей ракеты-носителя «Союз» на территории Северного Урала [9].

Выводы

По химическому составу снежный покров Алданского и Вилюйского районов Республики Саха (Якутия) за пределами падения отделяющихся частей ракеты-носителей – гидрокарбонатный, с очень низкой минерализацией (4–9 мг/л). После падения ступеней ракет макрокомпонентный химический состав снежного покрова в этих районах остался прежним, но изменился микрокомпонентный состав. На территории Алданского района установлено превышение фоновых показателей в снежном покрове по Fe, Pb и фенолам, а на территории Вилюйского – по Li, Fe, Al, Mn и фенолам. Эти отличия связаны с различным составом отделяющихся частей ракеты-носителя в районах 983 и 985.

Снег непосредственно под фрагментом отделяющихся частей (район 985) обогащён комплексом металлов и органическими соединениями. Непосредственно у фрагмента в снежном покрове наблюдаются аномальные концентрации 11 компонентов. Их качественные и количественные характеристики быстро снижаются с удалением от фрагментов отделяющихся частей.

Непосредственно под фрагментами (район 985) в снежном покрове наблюдаются превышения гигиенических ПДК_{ГГ} природных вод по бенз(а)пирену (в 174 раза), фенолам и свинцу (в 2–3 раза), а рыбохозяйственных ПДК_{РХ} – по Pb, Zn, Cu и фенолам (в 2–6 раз).

Загрязнение атмосферы на участках падения ступеней ракет (районы 983 и 985) в основном ограничивается радиусом до 100 м. Более обширные малококонтрастные техногенные аномалии связаны с выпадением свинца, фенолов и, возможно, бенз(а)пирена. Основная масса запаса растворимых форм химических элементов при таянии снега стекает по мёрзлому почвенному покрову в водоёмы и водотоки, поэтому в почвах под фрагментами отделяющихся частей ракеты образуются локальные слабококонтрастные техногенные литохимические аномалии, которые подлежат ликвидации. Несмотря на относительно высокое содержание органических соединений и ряда токсичных элементов около фрагментов ракеты, незначительное их количество в контуре аномалий не представляет собой существенной угрозы водным системам. В водоёмах и водотоках возможно формирование малококонтрастных и малопротяжённых техногенных гидрогеохимических аномалий. В целом негативные последствия на природную среду отделяющихся частей ракеты-носителя «Союз-2» (районы 983 и 985) в районах падения на территории Алданского и Вилюйского районов Республики Саха (Якутия) не опасны для окружающей среды и здоровья жителей.

Литература

References

1. Балькин С.Н. Эколого-геохимическая оценка РП 985 до и после пуска РН «Союз-2.1а» с космодрома «Восточный» // Приоритетные задачи обеспечения безопасности и экологического сопровождения пусков РН типа «Союз», направления их реализации. Барнаул: Ин-т водных и экологич. проблем СО РАН, 2017. С. 99–108.
2. Кожевников А.Ю., Боголицын К.Г., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В., Кошелева А.Е. Экологический мониторинг районов падения отделяющихся частей ракет в Арктических и Субарктических территориях // Вестн. Северного (Арктического) федерального ун-та. Сер. Естественные науки. Науки о Земле. 2013. № 3. С. 24–32.
3. Касимов Н.С., Кондратьев А.Д., Королева Т.В., Креchetов П.П., Неронов В.В., Попик М.В., Смоленков А.Д., Фадеев А.С., Черницова О.В., Шпигун О.А. Экологический мониторинг ракетно-космической деятельности. Принципы и методы. М.: РЕСТАРТ, 2011. 469 с.
4. Макаров В.Н. Геохимия снежного покрова таёжных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии // Лёд и Снег. 2014. № 1 (125). С. 73–80.
5. Макаров В.Н., Федосеев Н.Ф., Федосеева В.И. Геохимия снежного покрова Якутии. Якутск: Ин-т мерзотоведения СО АН СССР, 1990. 152 с.
6. Контроль качества воды. М.: Стандартиформ, 2010. 944 с.
7. Нормативно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 24. Якутская АССР. Кн. 1. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 607 с.
8. Маркова С.А., Макаров В.Н. Трансформация химического состава снежного покрова в зимний период // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: технология, климат и экология. Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2018. С. 46–50.
9. Большаков В.Н., Кузнецова И.А. Экологический мониторинг в районе падения отделяющихся частей ракет-носителей «Союз» на территории Северного Урала // Биосфера. 2015. Т. 7. № 2. С. 169–180.
10. Макаров В.Н. Ионы органических карбоновых кислот (формиат, ацетат и оксалат) в снежном покрове мерзлотных ландшафтов бореальной зоны Восточной Сибири // Геохимия. 2018. № 6. С. 594–602.
11. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. РСФСР. Вып. 16. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 595 с.
1. Balykin S.N. Ecological and geochemical assessment of FR 985 before and after the launch of the Soyuz-2.1a rocket launcher from the Vostochny cosmodrome. *Prioritetnye zadachi obespecheniya bezopasnosti i ekologicheskogo soprovozhdeniya puskov RN tipa «Soyuz», napravleniya ikh realizatsii*. Priority tasks of safety and environmental support of launches of the Soyuz type LV, directions for their implementation. Barnaul: IWEP SB RAS, 2017: 99–108. [In Russian].
2. Kozhevnikov A.Yu., Bogolitsyn K.G., Kosyakov D.S., Ulyanovskiy N.V., Kosheleva A.E. Ecological monitoring of areas of falling of detachable parts of missiles in the Arctic and Subarctic territories. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federalnogo universiteta. Ser: Estestvennye nauki. Nauki o Zemle*. Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Sciences. Earth Sciences. 2013, 3: 24–32. [In Russian].
3. Kasimov N.S., Kondratiev A.D., Koroleva TV, Krechetov P.P., Neronov V.V., Popik M.V., Smolenkov A.D., Fadeev A.S., Chernitsova O.V., Shpigun O.A. *Ekologicheskiy monitoring raketno-kosmicheskoy deyatel'nosti. Printsipy i metody*. Environmental monitoring of rocket and space activities. Principles and methods. Moscow: RESTART. 2011: 469 p. [In Russian].
4. Makarov V.N. Geochemistry of snow cover in taiga and mountainous frozen landscapes of Yakutia. *Led i Sneg. Ice and snow*. 2014. № 1 (125): 73–80. [In Russian].
5. Makarov V.N., Fedoseev N.F., Fedoseeva V.I. *Geokhimiya snezhnogo pokrova Yakutii*. Geochemistry of Yakutia snow cover. Yakutsk: Institute of Permafrost, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1990: 152 p. [In Russian].
6. *Kontrol' kathestva vody*. Water quality control. Moscow: Standartinform, 2010: 944 p. [In Russian].
7. *Normativno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Serya 3. Mnogoletnie dannye, chasty 1–6. Vypusk 24. Yakutskaya ASSR. Kniga 1*. Normative-applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Perennial data, parts 1–6. Release 24. Yakut ASSR. Book 1. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989: 607 p. [In Russian].
8. Markova S.A., Makarov V.N. Transformation of the chemical composition of snow cover in the winter. *Snezhnyi pokrov, atmosferynye osadki, aerezoli: tekhnologiya, klimat i ekoogiya*. Snow cover, precipitation, aerosols: technology, climate and ecology. Irkutsk: Publishing house INRTU, 2018: 46–50. [In Russian].
9. Bolshakov V.N., Kuznetsova I.A. Environmental monitoring in the area of the fall of separating parts of the Soyuz launch vehicles on the territory of the Northern Urals. *Biosfera*. Biosphere. 2015, 7 (2): 169–180. [In Russian].
10. Makarov V.N. Formate-, acetate- and oxalate ions organic carboxylic acid in the snow cover permafrost landscapes boreal Eastern Siberia. *Geochemistry International*. 2018, 56 (6): 608–615.
11. *Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverchnostnykh vod sushi*. Government water cadastre. Long-term data on regime and resources of surface land water. V. 1. RSFSR. Is. 16. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987: 595 p.