

мерзлотного экрана, ограждающего трехмерное пространство месторождения от окружающей среды.

Выводы:

1. Создание противofильтрационного экрана на основе предложенной технологии в значительной степени повышает степень функциональной безопасности при добыче полезных ископаемых методом подземного скважинного выщелачивания;

2. Поддержание в проектном эксплуатационном состоянии функциональной достаточности противofильтрационного экрана гарантирует возможность загрязнения ПОС в результате разгерметизации технологических трубопроводов и обсадных колонн в пост проектный период существования отработанного месторождения.

Список использованных источников:

1. М.Д. Носков, Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания. // Уч.пособие СТИ МИФИ. – 2010 г. – 83 с.
2. А.Б. Уманский, Оптимизация технологии скважинного подземного выщелачивания урана из руд гидрогенных месторождения. // г. Екатеринбург. – 2010 г.
3. СТО СРО-П 6054294800033-2019 г. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий методом подземного выщелачивания.
4. СП 2.6.1. 26112-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.
5. СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем ВК из полимерных материалов. Общие требования.

УДК 614.7

СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ПОЧВАХ ПРИЭЛЬБРУСЬЯ, И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ТОКСИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Кушнов И. Д.¹, Низамутдинов Т. И.¹, Абакумов Е. В.¹, Темботов Р. Х.²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия st084838@student.spbu.ru, timur_nizam@mail.ru, e_abakumov@mail.ru

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова Российской академии наук, г. Нальчик, Россия tembotov.rustam@mail.ru

Аннотация: Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – один из наиболее распространенных и опасных поллютантов для окружающей среды, большинство из которых могут представлять опасность и для человека ввиду их высокой токсичности. Горные территории, в высокой степени подвержены накоплению загрязнителей из-за осаждения в холодных условиях частиц, привнесенных из индустриальных регионов путем атмосферной циркуляции. Это может негативно повлиять на локальные экосистемы и на здоровье

населения. *Целью исследования* явилось изучение особенности загрязнения полиаренами органоминеральных отложений (криоконитов), с двух ледников Приэльбрусья, а также местных почв. Проведен количественный анализ содержания различных ПАУ в изучаемых образцах и определена их токсичность при помощи расчета бенз(а)пиреновых эквивалентов. Установлено, что наибольшее содержание ПАУ характерно для криоконитов с ледника Гарабаши, что, вероятно, связано с активной антропогенной деятельностью в его окрестностях. В суммарном пуле полиаренов доминировал нафталин (до 84 нг/г). В одном из криоконитов концентрации отдельных ПАУ превышали установленные ПДК (в бенз(а)пиреновом эквиваленте); суммарные концентрации изученных полиаренов превышали ПДК во всех изученных образцах.

Ключевые слова: полиарены, криоконит, почва, токсичность, Центральный Кавказ.

CONTAMINATION OF ORGANOMINERAL SEDIMENTS AND SOILS OF THE ELBRUS REGION WITH POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND THEIR POSSIBLE TOXIC EFFECTS

Kushnov I.D.¹, Nizamutdinov T.I.¹, Abakumov E.V.¹, Tembotov R.Kh.²

¹*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University", St. Petersburg, Russia st084838@student.spbu.ru, timur_nizam@mail.ru, e_abakumov@mail.ru*

²*Federal State Budgetary Institution of Science A. K. Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia tembotov.rustam@mail.ru*

Abstract: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are dangerous environmental pollutants, most of which can pose a danger to human. Mountainous areas are highly susceptible to accumulation of pollutants due to deposition of particles transported from industrial regions by atmospheric circulation. The main purpose of research is to study features of organomineral sediments (cryoconite) contamination sampled from two glaciers of the Elbrus region and local soils with polyarenes. Content of various PAHs in studied samples was measured and their toxicity was determined using the calculation of benz(a)pyrene equivalents. It was found that the highest PAHs content is typical for cryoconite from the Garabashi glacier, which is associated with active anthropogenic activity. Naphthalene dominates in total pool of polyarenes (max. 84 ng/g). In cryoconite sample concentrations of individual PAHs exceed the established MPC (in benz(a)pyrene equivalence); total concentrations of studied polyarenes exceed the MPC in all samples.

Key words: polyarenes, cryoconite, soil, toxicity, Central Caucasus.

Введение. С ростом антропогенной активности в глобальном масштабе мониторинг различных загрязняющих веществ стал одним из приоритетов мирового сообщества. Одной из наиболее токсичных химических веществ являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Некоторые из

них обладают канцерогенными и мутагенными эффектами и, следовательно, могут представлять опасность для здоровья человека [1]. Полиарены могут переноситься путем атмосферного трансграничного переноса в отдаленные полярные и горные районы, где под воздействием холодной конденсации они осаждаются в наземной экосистеме (ледники, снежный покров, почвы, водоемы). Одними из основных аккумулянтов загрязняющих веществ в горных экосистемах являются криокониты. Криоконит – широко распространенное в гляциальных ландшафтах отложение черного цвета, которое представляет смесь из черного углерода, минеральных частиц и органического вещества [2]. Недавние исследования содержания полиаренов в криоконитах, проведенные в Антарктике [3] и на Тибетском плато [4], показали, что содержание ПАУ в них выше фоновых и пороговых значений для большинства контролируемых полиаренов. В районе Центрального Кавказа накопление ПАУ может привести к загрязнению локальных уязвимых экосистем и опасности для здоровья местного населения.

Цель исследования – изучить степень загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами органоминеральных отложений (криоконитов) и почв Приэльбрусья, а также оценить их токсичность и опасность для человека.

Материалы и методы. Для определения уровня содержания полиаренов были отобраны криокониты и аллювиальный материал с ледника Шхельда, а также криокониты и моренные отложения с ледника Гарабаши (Приэльбрусье). Отбор местных почв (чернозем [5]) производился из разреза, заложенного в Баксанском ущелье. Также был отобран материал из сошедшей сели в Баксанском ущелье. Определялись концентрации ПАУ, входящих в список приоритетных [6]. Из них: нафталин (NAP), аценафтен (ANA), флуорен (FLU), фенантрен (PHE), антрацен (ANT), флуорантен (FLT), пирен (PYR), бензантрацен (BaA), хризен (CHR), бенз(е)ацефенантрилен (BbF), бензо[к]флуорантен (BkF), бензо[а]пирен (BaP), дибенз[а,h]антрацен (DBA), бензо[ghi]перилен (BPE), индено[1,2,3-cd]пирен (IPY). Экстрагирование ПАУ осуществлялось следующим образом. На 1 грамм очищенного и воздушно-сухого образца было добавлено 10 мл диэтилового эфира после помещения раствора в ультразвуковую ванну на 30 минут. Затем экстракт выпаривали при температуре 60°C до полного высыхания. После высыхания к остатку был добавлен 1 мл ацетонитрила, затем подготовленные экстракты анализировались методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. К сожалению, нормативные концентрации для большинства полиаренов не разработаны, поэтому многие исследования проводятся путем приведения уровней токсичности различных ПАУ по отношению к бензо[а]пирену, ввиду его хорошей изученности, другими словами, путем расчета эквивалентов бензо[а]пирена (BaP-эквивалентов) токсичности ПАУ. Это позволяет сравнивать различные ПАУ с установленными стандартами. В России предельно допустимая концентрация (ПДК) бензо[а]пирена в почвах составляет 0,02 мг/кг [7]. BaP-эквиваленты были рассчитаны путем умножения значений фактора токсичности (TEF) и зарегистрированных концентраций отдельных ПАУ. Значения TEF для ПАУ, которые мы изучали, следующие [8]: NAP, ANA, FLU,

PHE – 0,001; ANT – 0,01; FLT, PYR – 0,001; BaA – 0,1; CHR – 0,01; BbF, BkF – 0,1; BaP-1; DBA – 5; BPE – 0,01; IPY – 0,1.

Результаты. Как видно, содержание большинства углеводородов сильно варьировало (рисунок 1). Максимальный уровень содержания зарегистрирован для нафталина, фенола и пирена (84, 40 и 47 нг/г соответственно). Минимальная концентрация обнаружена для антрацена около 1 нг/г во всех исследованных образцах. В большинстве случаев самые высокие концентрации отдельных ПАУ регистрировались в точке отбора проб на леднике Гарабаши, что может быть связано с активной антропогенной деятельностью в его окрестностях. Здесь обнаружено максимальное содержание нафталина – 84, фенола – 40, флуорантена – 28, пирена – 47, хризена – 17, бенз(е)ацефенантрилена – 13, бензо[к]флуорантена – 4,2 и бензо[а]пирена – 5,8 нг/г. Уровень отдельных ПАУ в образце с данного ледника в большинстве случаев превышал средние значения. Минимальное содержание отдельных ПАУ в основном обнаружено в образцах, полученных с ледника Шхельда. Расчет ВаР-эквивалентов показал, что для большинства ПАУ их потенциальная токсичность была ниже ПДК бенз(а)пирена (20 нг/г). Выделяется только содержание дибенз[а,h]антрацена во всех исследованных образцах. Перерасчет концентраций этого полиарена в ВаР-эквиваленты показал его содержание на уровне 35-40 нг/г бензо[а]пирена. Следует также отметить, что максимальные ВаР-эквиваленты отдельных ПАУ были зарегистрированы в образце с ледника Гарабаши. Здесь максимальны ВаР-эквиваленты таких ПАУ, как NAP – 0,084, PHE – 0,04, CHR – 0,173, BbF – 1,273 и BkF – 0,418 нг/г.

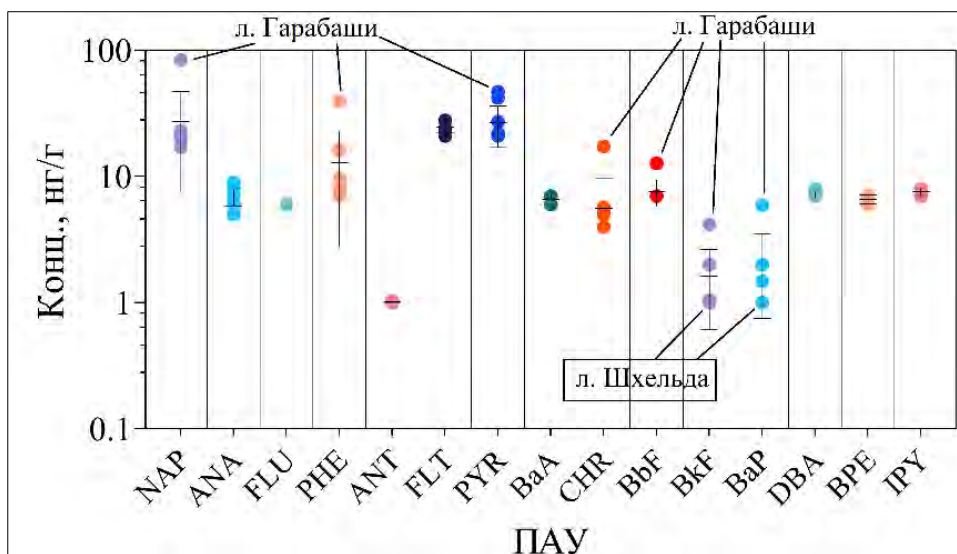


Рисунок 1 – Концентрация отдельных ПАУ в исследуемых образцах (нг/г)

При пересчете суммы ПАУ в ВаР-эквиваленты можно видеть (рисунок 2), что для всех без исключения точек токсичность ВаР-эквивалентов превышает предельные значения (20 нг/г). Для образцов с ледника Гарабаши и почв общая эквивалентная концентрация бензо[а]пирена превышает ПДК более чем в два раза.

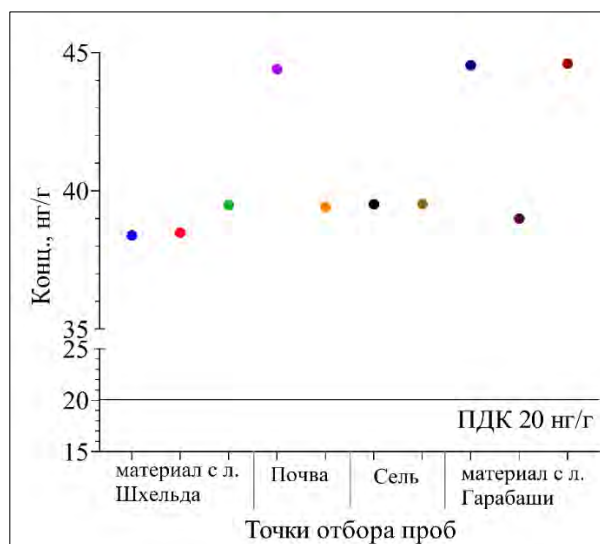


Рисунок 2 – Суммы ПАУ в ВаР-эквивалентах в изученных материалах

Заключение. Таким образом, самые высокие уровни загрязнения полиаренами в Приэльбрусье характерны для криоконитов, которые находятся на леднике Гарабаши, вблизи популярных туристических маршрутов. Суммарные концентрации ПАУ в ВаР-эквиваленте в каждой из точек отбора проб значительно превышает ПДК, что свидетельствует об опасности для здоровья населения при попадании загрязненного материала в организм человека. Возможен сценарий переноса ПАУ из органоминеральных отложений в локальные почвы, что увеличит их уровень загрязнения. Это также может оказать влияние на качество и безопасность пастбищных угодий, и сельскохозяйственных культур, которые выращиваются в высокогорных районах Центрального Кавказа.

Список использованных источников

1. Bostrom C. E., Gerde P., Hanberg A., Jernstrom B., Johansson C., Kyrklund T., Rannug A., Tornqvist M., Victorin K., Westerholm R. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air // *Environmental health perspectives*. 2002. № 110. P. 451–488.
2. Hodson A., Anesio A., Tranter M., Fountain A., Osborn M., Priscu J., Laybourn-Parry J., Sattler B. Glacial ecosystems // *Ecological monographs*. 2008. № 78 (1): 41–67.
3. Abakumov E., Nizamutdinov T., Yaneva R., Zhiyanski M. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Potentially Toxic Elements in Soils of the Vicinity of the Bulgarian Antarctic Station “St. Kliment Ohridski” (Antarctic Peninsula) // *Frontiers in Environmental Science*. 2021. № 9. P. 127.
4. Li Q., Kang S., Wang N., Li Y., Li X., Dong Z., Chen P. Composition and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in cryoconites of the Tibetan Plateau glaciers // *Science of the Total Environment*. 2017. № 1. P. 991–999.
5. Классификация и диагностика почв России / под ред. Г. В. Добровольского. Смоленск : Ойкумена, 2004. 343 с.
6. Health Effects Assessment For Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH). Washington, D.C. : U.S. Environmental Protection Agency, 1986. 61 p.
7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
8. Nisbet I. C. T., Lagoy P. K. Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) // *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 1992. № 16 (3). P. 290–300.

Работа проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-05-50107 «Роль микрочастиц органического углерода в деградации ледникового покрова полярных регионов Земли и в формировании почвоподобных тел».