

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ПЕСКАХ ПРИБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛЯЖА

Кривошлык П.Н.*, Чубаренко И.П.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: Poka20106@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 25.06.2021, одобрена к печати 07.08.2021.

В работе рассматривается сезонная динамика содержания частиц микропластика размером от 0.5 до 5 мм в песках прибойной зоны Вислинской косы (Балтийское море). Частицы микропластика классифицируются по размерам, форме и цвету. Результаты сравниваются с данными по Куршской косе. Сделан вывод о возможности использования уровня загрязнения мелким микропластиком (0.5–2 мм) песков зоны заплеска в качестве «фонового» значения для всего региона и в течение всех сезонов года. Современный уровень загрязнения песков в зоне заплеска волн в Юго-Восточной Балтике частицами мелкого микропластика (0.5–2 мм) в течение всего года составляет 30–60 штук на кг сухого веса, при этом более 90% составляют волокна.

Ключевые слова: песчаный пляж, зона заплеска волн, годовая динамика, загрязнение микропластиком, концентрация, Балтийское море

Введение

Проблема загрязнения микропластиком (МП) окружающей среды в последние годы стала волновать многих людей, в том числе и ученых. По оценкам Международного союза охраны природы (IUCN), ежегодно в моря попадает около 1.5 млн тонн микропластика, который аккумулируется в донных отложениях и переносится на пляжи (Van Sebille et al., 2015). По данным некоторых исследований, наибольшему риску загрязнения морским мусором подвергается прибрежная зона моря и пляжи (в т.ч. и дикие) (Birkun, 2007; HELCOM, 2007; Simeonova et al., 2017; Eo et al., 2018; Lindeque et al., 2020). В Балтийском море основная часть загрязнений обнаруживается в хозяйственной зоне и на береговой линии (HELCOM, 2007; UNEP, 2009). В загрязнениях преобладают волокна и нити (до 99% в некоторых исследованиях). Их основной источник – синтетические ткани и современные нетканые материалы. Распределение пластиковых частиц по поверхности и в теле пляжа неоднородно и пятнисто, но в прибойной зоне (зоне наката волн) оно, по-видимому, минимально, а вариации содержания мелкого МП (0.5–2 мм) в пространстве не так значительны, как в других зонах пляжа (Есюкова, Чубаренко, 2018; Chubarenko et al., 2018; Chubarenko et al., 2020; Esiukova et al., 2020). Это позволяет использовать загрязнение мелким МП песков прибойной

зоны в качестве реперной точки для мониторинга более долгосрочных изменений уровня загрязнения пляжей.

Целью данного исследования является анализ сезонных изменений содержания частиц МП (от 0.5 до 5 мм в данной работе) в песках прибойной зоны Вислинской косы (Балтийское море). В отсутствие стандартизованных классификаций, именно такой диапазон размеров частиц МП в данном исследовании выбран для максимально корректного сравнения с исследованиями загрязнения песков пляжей Куршской косы (Chubarenko et al., 2020; Esiukova et al., 2020).

Регион исследования

Наблюдения и отбор проб проводились на песчаных пляжах северной оконечности Вислинской (Балтийской) косы (юго-восточная часть Балтийского моря) (рис. 1).



Рис. 1. Карта Станций отбора проб на Вислинской косе

За время проведения исследования было выполнено 4 мониторинговых выходов в соответствии с сезонами 2020 г. (22.04.2020; 19.07.2020; 23.10.2020; 03.01.2021). Пробы отбирались в шести фиксированных точках в прибойной зоне пляжа (рис. 1), но не все они могли быть охвачены в течение одного выхода (см. далее таблицу 1). В один из выходов (03.01.2021) в двух точках были отобраны образцы и песка, и мелкой гальки, находившиеся в зоне заплеска волн на расстоянии 1.5 м друг от друга.

Материалы и методы

Влажный песок из зоны заплеска волн отбирался из поверхностного слоя (1.5–2 см с площади $0.3 \text{ м} \times 0.3 \text{ м} = 0.09 \text{ м}^2$) в новые полиэтиленовые пакеты (рис. 2) и транспортировался в лабораторию.



Рис. 2. Пример отбора пробы песка

Песок высушивался до постоянного веса в сушильном шкафу (ES-4610, Экросхим) при температуре 70°C , после просушки проба взвешивалась на весах (АСОМ JW-1, Acom Inc., Ltd) с точностью до 0.1 г, от каждой пробы отбиралось около 100 г на гранулометрический анализ.

Далее проба, уже без части, отложенной на анализ гранулометрии, просеивалась через каскад сит для разделения на фракции (>5 ; 5–2; 2–1; 1–0.5; <0.5 мм); каждая фракция упаковывалась в отдельный пакет для дальнейшего хранения.

Мелкий песок (меньше 0.5 мм) упаковывался в пакет с биркой с датой, местом и номером образца и отправлялся в архив (эта фракция песка в дальнейшей части данного исследования не изучалась).

Образцы на ситах осматривались на предмет визуально различимых частиц пластика, при наличии – их протоколировали.

После раздела пробы на фракции песок, заключенный между ситами 0.5–2 мм, отправлялся на флотацию. Если масса пробы была <400 г, то весь образец шел на флотацию, если >400 г, песок, заключенный между ситами 0.5–2 мм, тщательно перемешивался, после чего из него отбиралось 400 г.

Флотация проходила по модифицированному методу Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) (Masura et al., 2015; Zobkov

and Esiukova, 2017). Метод включает следующие этапы: (1) плотностное разделение образца с ARP (artificial referens particles) (ясно видимые контрольные зеленые пластиковые флуоресцирующие частицы) в растворе $ZnCl_2$ (плотность 1.6 г/см^3), (2) смыв всплывшего материала на каскад сит (333 мкм; 175 мкм; 100 мкм), (3) собранный ситами материал отправлялся в стакан объемом 600 мл (общий объем дистиллированной воды с образцом должен быть равен 200 мл), (4) далее подвергался жидкому окислению (H_2O_2 (30%) с добавлением катализатора при температуре до 75°C), (5) удаление фракции кальцита раствором HCl (проба отстаивалась в растворе около суток); (6) фильтрация на уже использованные для этой пробы сита (333 мкм; 175 мкм; 100 мкм).

После камеральных работ фильтры просматривались на микроскопе (МС1 вар. 1С, Микромед) с десятикратным увеличением. Частицы пластика отделялись от частиц природного происхождения и других веществ по следующим критериям: 1) у частиц пластика отсутствует клеточная структура; 2) волокна равномерно окрашены и одинакового диаметра по всей длине; 3) частицы имеют яркий, однородный цвет (Norén, 2007). Примеры выявленных под микроскопом частиц МП приведены на рис. 3.

Гранулометрический анализ выполнен на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц SALD 2300 (Shimadzu, Япония). Гранулометрические фракции определялись согласно шкале Вентворса (Wentworth, 1922), эта методика была выбрана для получения возможности сравнения результатов с материалами иностранных коллег. Статистические показатели (средний размер, сортировка) рассчитаны в программе Gradistat (Blott, Pye, 2002).

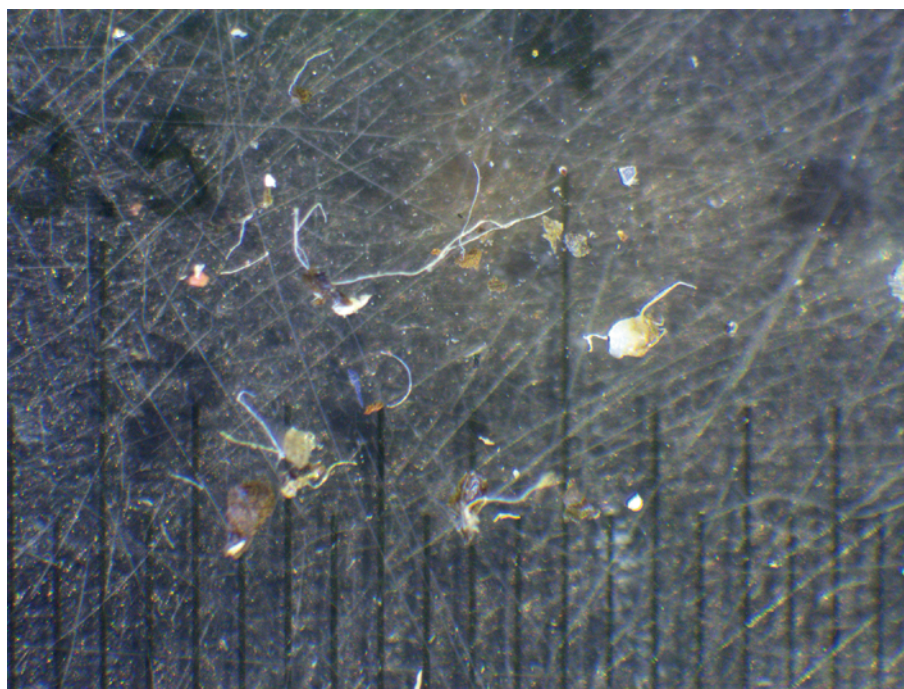


Рис. 3. Вид частиц МП под микроскопом

Результаты и обсуждение

Общая картина загрязнения микропластиком

В общей сложности, в 20 пробах песка прибойной зоны обнаружено 951 частица МП (0.5–5 мм). В пересчете количества частиц МП (0.5 до 5 мм) на кг сухого веса пробы, на фильтрах было обнаружено от 9 до 130 частиц МП/кг, более 90% представлены нитями и волокнами – вытянутыми, незначительными по ширине и толщине частицами. Второй по распространенности формой МП оказались фрагменты, т.е. частицы, имеющие какую-либо геометрическую форму, а также длину и ширину <0.5 мм. Вариации вдоль берега относительно невелики: в среднем, наименее загрязненной оказалась точка (4) – 33 ± 17 шт./кг, а наиболее загрязненной – соседняя с ней точка (3) – 70 ± 52 шт./кг (см. табл. 1).

Распределение МП по размерам таково: частицы (всех форм) от 0.5 до 2 мм составляли 74% от общего числа, следующими по количеству были частицы размером 2–5 мм, которые составили 23%, а меньше всего оказалось частиц самой крупной фракции >5 мм – около 3%. Следует отметить, что распределение фрагментов частиц МП несколько другое, 100% фрагментов пришлось на фракцию 0.5–1 мм. Схожие данные были получены при изучении Национальных парков США (Whitmire, 2017).

По цветам частицы МП распределяли по заглубленной цветовой шкале (прозрачный, белый, зеленый, синий, желтый, красный, коричневый, черный) (Esiukova et al., 2020). Преобладали прозрачные частицы МП самой разной морфологии, их насчитывалось около 45%; следующими по обилию оказались частички зеленого и синего цвета – 16 и 18% соответственно. Остальные распределились так: белый – 6%; черный – 6%; красный – 4%; желтый – 3%; коричневый – 2%. Фрагменты частиц несколько отличались по цветовому распределению: красных и синих частичек оказалось по 33% каждый, коричневых – 18%, зеленых и черных обнаружили по 6%, наименьшее количество пришлось на желтые частички – 1%; фрагментов остальных цветов не обнаружено.

Нити и волокна на фильтрах принимали самые разные формы: встречались прямые, изогнутые, завязанные узлом и переплетенные нити. Формы фрагментов также были разнообразны: встречались как почти геометрически правильные, так и более сложные формы.

Анализ количества частиц МП в песках прибойной зоны не показал уверенного сезонного хода ни для размерного диапазона мелкого МП (0.5–2 мм), ни для общего количества частиц МП (от 0.5 до 5 мм). Весной и осенью количество частиц МП практически в 2 раза меньше, чем зимой и летом, однако о причинах этого полученные данные говорить не позволяют. Погодные условия во время всех мониторинговых выходов были достаточно хорошими: ветер тихий, до умеренного, волнение слабое с невысоким заплеском.

Таблица 1. Концентрации частиц МП (0.5–5 мм) и (0.5–2 мм) в пробах в различные сезоны

Сезон отбора	№ Станции	Общее количество частиц размерного диапазона (мм) на кг сухого вещества (песок)		Среднее количество частиц размерного диапазона (мм) на кг сухого вещества (песок)	
		0.5–2	0.5–5	0.5–2	0.5–5
Зима	0	46	90	51±19	70±30
	1	30	38		
	2	80	108		
	4 галька	70	91		
	4 песок	41	48		
	5 галька	48	53		
	5 песок	61	66		
Весна	1	20	42	26.4±5	37±4
	2	22	31		
	3	31	37		
	4	27	37		
	5	32	38		
Лето	1	39	53	52±30	74±35
	2	56	70		
	3	96	130		
	4	15	39		
	5	54	78		
Осень	1	43	57	32.2±14	41±18
	2	37	48		
	3	35	45		
	4	8	9		
	5	38	45		

Сравнение с загрязнением в прибойной зоне Куршской косы

В работе (Chubarenko et al., 2020) на данных, полученных при мониторинге четырех зон пляжей Куршской косы весной 2018 г., было показано, что общее загрязнение, а также загрязнение макро-/мезо- пластиком и частицами МП (0.5–5 мм) очень неоднородно. Однако концентрации частиц мелкого МП (0.5–2 мм) в песках наиболее динамичной зоны пляжа – области набегания волн – не только схожи на протяжении почти 100-километрового побережья, но и близки к среднему значению загрязнения пляжей мелким МП по всем его зонам. Такая картина загрязнения, вероятно, имеет под собой физические причины: это пористость песков и их проницаемость для слишком мелких частиц МП, а также постоянная пересортировка материала набегаящими волнами, выбрасывающая более крупный пластик на линию заплеска волн (Chubarenko et al., 2020). Хорошо известно, что в прибойной зоне

происходит сортировка и самого песка, поэтому и сортировка частиц МП вполне ожидаема.

Среднее значение загрязнения частицами МП (0.5–2 мм) песков уреза Вислинской косы в течение года составило 44 ± 22 шт./кг сухого веса (медианное значение 40 шт./кг). Этот уровень загрязнения, действительно, близок полученному в исследованиях (Chubarenko et al., 2020): 53 ± 36 шт./кг.

Сравнение содержания МП в песке и гальке

Определенной закономерности в соотношении количества частиц МП в пробах песка и гальки, взятых в непосредственной близости друг от друга, установить не удалось: галька может быть как меньше, так и больше загрязнена, чем песок (см. табл. 1). Размеры частиц и их распределение также существенно не отличались друг от друга.

Гранулометрический анализ показал, что образцы песка были хорошо сортированы (значения коэффициента сортировки по шкале П.Д. Траска от 1.2 до 1.9), пески среднезернистые, а галька мелкая. Разницы накопления МП в песках и гальке различных размеров и сортированности не выявлено.

Выводы

Результаты наблюдений подтверждают гипотезу, что уровень загрязнения осадков в прибойной зоне пляжа частицами мелкого МП (0.5–2 мм) можно использовать в качестве «фоновое» при мониторинге загрязнений пляжей и морской среды. Современный уровень загрязнения песков в зоне заплеска волн в Юго-Восточной Балтике частицами мелкого микропластика (0.5–2 мм) в течение всего года составляет 30–60 штук на кг сухого веса, при этом более 90% составляют волокна.

Благодарности. Исследования проводятся при поддержке РФФ, грант № 19-17-00041. Лабораторные анализы проведены в рамках темы госзадания № 0128-2021-0012.

Список литературы

- Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П. Особенности распределения микропластика на песчаных пляжах Калининградской области (Балтийское море) // Региональная экология. 2018. № 1(51). С. 108–121.
- Blott S.J., Pye K. Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments // Earth Surf Process Landforms. 2001. Vol. 26. P. 1237–1248.
- Birkun A., Atudorei A., Gamgebeli T., Dedeoglu S.G. Movchan N., Nikolova A., Okus E., Yurenko Y. Marine Litter in the Black Sea Region. 2007. Commission on the protection of the Black Sea against pollution. Retrieved from http://www.blacksea-commission.org/_publ-ML.asp, 17 June 2021.

- Chubarenko I., Esiukova E., Khatmullina L., Lobchuk O., Grave A., Kilesa A., Haseler M.* From macro to micro, from patchy to uniform: analyzing plastic contamination along and across a sandy tide-less coast // *Mar. Pollut. Bull.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111198>.
- Chubarenko I.P., Esiukova E.E., Bagaev A.V., Bagaeva M.A., Grave A.N.* Three-dimensional distribution of anthropogenic microparticles in the body of sandy beaches // *Science of the Total Environment.* 2018. Vol. 628–629. P. 1340–1351. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.02.167.
- Eo S., Hong S.H., Song Y.K., Lee J., Lee J., & Shim W.J.* Abundance, composition, and distribution of microplastics larger than 20 µm in sand beaches of South Korea // *Environmental pollution.* 2018. Vol. 238. P. 894–902.
- Esiukova E., Zobkov M., Chubarenko I.* Data on microplastic contamination of the Baltic Sea bottom sediment samples in 2015–2016 // *Data in Brief.* February 2020. Vol. 28. 104887 <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104887>.
- HELCOM, 2007. *Marine Litter in the Baltic Sea Region: Assessment of the Marine Litter Problem in the Baltic Region and Priorities for Response.* (Helsinki, Finland).
- Lindeque P.K., Cole M., Coppock R.L., Lewis C.N., Miller R.Z., Watts A.J. R., Wilson-McNeal A., Wright S.L., Galloway T.S.* Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment? A comparison of microplastic capture with nets of different mesh-size // *Environmental Pollution.* 2020. Vol. 265. P. 114721.
- Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C.* Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments // *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.* 2015. P. 31.
- Norén F.* Small plastic particles in Coastal Swedish waters. KIMO report. 2007. 11 p.
- Simeonova A., Chuturkova R., Yaneva V.* Seasonal dynamics of marine litter along the Bulgarian Black Sea coast // *Marine Pollution Bulletin.* 2017. Vol. 119. No. 1. P. 110–118.
- UNEP, *Marine Litter: A Global Challenge.* UNEP. Nairobi, 2009. P. 232.
- Van Sebille E., Wilcox C., Lebreton L., Maximenko N., Hardesty B.D., van Franeker J.A., Eriksen M., Siegel D., Galgani F., and Law K.L.* A global inventory of small floating plastic debris // *Environmental Research Letters.* 2015. Vol. 10. No. 12. P. 24006.
- Wentworth C.K.* A scale of grade and class terms for clastic sediments // *The journal of geology.* 1922. Vol. 30. No. 5. P. 377–392.
- Whitmire S.L., van Bloem S.J.* Quantification of microplastics on National Park Beaches. 6/01/2015–05/31/2017 prepared for: marine debris program, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration, contract GSI-CU-1505. 2017.

SEASONAL VARIATIONS IN THE CONTENT OF MICROPLASTIC PARTICLES IN THE SANDS OF THE BEACH SWASH ZONE

Krivoshlyk P.N.*, Chubarenko I.P.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: Poka20106@yandex.ru

Submitted 25.06.2021, accepted 07.08.2021.

The paper considers the seasonal dynamics of the content of microplastic particles with a size from 0.5 to 5 mm in the sands of the surf zone of the Vistula Spit (the Baltic Sea). Microplastic particles are classified by size and color. The results are compared with the data for the Curonian Spit. It is concluded that the level of contamination with small microplastics (0.5–2 mm) of the sands of the swash zone can be used as a "background" value for the entire region and during all seasons of the year. The current level of sand contamination in the wave swash zone in the South-Eastern Baltic by small microplastic particles (0.5–2 mm) is 30–60 pieces per kg of dry weight throughout the year, while more than 90% are fibers.

Keywords: sandy beach, wave splash zone, annual dynamics, microplastic pollution, concentration, the Baltic Sea

Acknowledgements: The research is supported by the RSF, grant No. 19-17-00041. Laboratory tests were carried out within the framework of the state assignment No. 0128-2021-0012.

References

- Blott, S.J. and K. Pye, 2001: Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surf Process Landforms*, 26, 1237–1248.
- Birkun, A., A. Atudorei, T. Gamgebeli, S.G. Dedeoglu, N. Movchan, A. Nikolova, E. Okus, and Y. Yurenko, 2007: Marine Litter in the Black Sea Region. *Commission on the protection of the Black Sea against pollution*. Retrieved from: http://www.blacksea-commission.org/_publ-ML.asp, 17 June 2021.
- Chubarenko, I., E. Esiukova, L. Khatmullina, O. Lobchuk, A. Grave, A. Kileso, and M. Haseler, 2020: From macro to micro, from patchy to uniform: analyzing plastic contamination along and across a sandy tide-less coast. *Mar. Pollut. Bull.*, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111198>.
- Chubarenko, I.P., E.E. Esiukova, A.V. Bagaev, M.A. Bagaeva, and A.N. Grave, 2018: *Three-dimensional distribution of anthropogenic microparticles in the body of sandy beaches Science of the Total Environment*. Vol. 628–629, 1340–1351, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.167.
- Eo, S., S.H. Hong, Y.K. Song, J. Lee, Js. Lee, and W.J. Shim, 2018: *Abundance, composition, and distribution of microplastics larger than 20 µm in sand beaches of South Korea Environmental pollution*. 238, 894–902.

- Esyukova, E. and I. Chubarenko, 2018: Osobennosti raspredeleniya mikroplastika na peschanykh plyazhakh Kaliningradskoy oblasti (Baltiyskoe more). *Regional'naya ekologiya*. 1(51), 108–121 (in Russian).
- Esiukova, E., M. Zobkov, and I. Chubarenko, 2020: *Data on microplastic contamination of the Baltic Sea bottom sediment samples in 2015–2016*. Data in Brief. 28, 104887 <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104887>.
- HELCOM, 2007: *Marine Litter in the Baltic Sea Region: Assessment of the Marine Litter Problem in the Baltic Region and Priorities for Response*. (Helsinki, Finland).
- Lindeque, P.K., M. Cole, R.L. Coppock, C.N. Lewis, R.Z. Miller, A.J.R. Watts, A. Wilson-McNeal, S.L. Wright, and T.S. Galloway, 2020: Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment? *A comparison of microplastic capture with nets of different mesh-size Environmental Pollution*. 265, 114721.
- Masura, J., J. Baker, G. Foster, and C. Arthur, 2015: *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48*. 31 2015.
- Norén, F. *Small plastic particles in Coastal Swedish waters*. KIMO report, 2007, 11 p.
- Simeonova, A., R. Chuturkova and V. Yaneva, 2017: *Seasonal dynamics of marine litter along the Bulgarian Black Sea coast Marine Pollution Bulletin*. 119, 1, 110–118.
- UNEP, 2009: *Marine Litter: A Global Challenge*. UNEP, Nairobi, pp. 232.
- Van Sebille, E., C. Wilcox, L. Lebreton, N. Maximenko, B.D. Hardesty, J.A. van Franeker, M. Eriksen, D. Siegel, F. Galgani and K.L. Law, 2015: *A global inventory of small floating plastic debris Environmental Research Letters*. 10, 12, 124006.
- Wentworth, C.K., 1922: *A scale of grade and class terms for clastic sediments the journal of geology*, 30, 5, 377–392.
- Whitmire, S.L., and S.J. van Bloem, 2017: *Quantification of microplastics on National Park Beaches*. 6/ 01/2015–05/31/2017 prepared for: marine debris program, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration, contract GSI-CU-1505.