

О спутниковом мониторинге распространения взвешенных наносов при строительстве морского газопровода Nord Stream в российских водах Балтийского моря в 2010 г.

Н.Н. Гришин¹, А.Г. Костяной²

¹ *Nord Stream AG*

119019 Москва, ул. Знаменка 7, стр. 3

E-mail: nng321@gmail.com

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

117997 Москва, Нахимовский проспект, 36

E-mail: kostianoy@gmail.com

В работе приводятся результаты спутникового мониторинга строительства российской секции морского газопровода Nord Stream в Балтийском море в 2010 году, включающие оценки масштаба и концентрации полей взвешенных наносов, возникающих при проведении гравийных отсыпок и прокладке газопровода. Результаты исследования показывают, что масштаб антропогенных полей взвешенных наносов, обусловленных строительством морского газопровода, намного меньше масштаба полей взвеси, связанных с природными процессами.

Ключевые слова: Nord Stream, морской газопровод, Балтийское море, спутниковый мониторинг, взвешенные наносы, антропогенное воздействие.

Введение

Строящийся морской газопровод Nord Stream («Северный поток») представляет собой транспортную систему, предназначенную для экспорта природного газа из России в Германию и в Европейский Союз через акваторию Балтийского моря (от компрессорной станции ОАО «Газпром» вблизи бухты Портовая в Выборгском районе Ленинградской области до приёмного терминала вблизи населенного пункта Любмин в районе Грайфсвальда на северном побережье Германии). Трасса газопровода протяженностью более 1220 км пересекает исключительные экономические зоны пяти государств – России, Финляндии, Швеции, Дании и Германии, а также воды территориальных морей России, Германии и Дании.

Морской газопровод Nord Stream стал новым маршрутом поставок газа в Европу, позволяющим напрямую соединить крупнейшие российские газовые месторождения с Западной Европой (рис. 1). Строительство первой нитки газопровода пропускной способностью 27,5 млрд м³ газа в год началось в апреле 2010 года и было завершено в июне 2011 года. Поставки газа в Европу по первой нитке газопровода Nord Stream начались 8 ноября 2011 года. Строительство второй нитки началось в мае 2011 года. Согласно графику, транспортировка газа по второй нитке начнется в последнем квартале 2012 года. После выхода газопровода на полную эксплуатационную мощность в четвертом квартале 2012 года он сможет ежегодно поставлять 55 млрд. м³ газа на протяжении как минимум 50 лет.



Рис. 1. Трасса морского газопровода *Nord Stream*

О проведении мониторинга распространения взвешенных наносов при строительстве морского газопровода *Nord Stream*

При проведении многочисленных консультаций по экологическим аспектам проекта *Nord Stream* на международном (в рамках Конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте Европейской экономической комиссии ООН (Конвенция..., 1994; Гришин, 2007б)) и национальном (Гришин, 2007а) уровнях высказывались предложения о необходимости проведения «*turbidity monitoring*» (мониторинга мутности вод).

В соответствии с российским государственным стандартом по гидрологической терминологии (ГОСТ..., 1988), «мутность воды – весовое содержание взвешенных наносов в единице объёма смеси воды с наносами». Следовательно, «*turbidity monitoring*» или «мониторинг мутности вод» есть мониторинг распространения взвешенных наносов, проводимый для сравнения наблюдаемых значений концентрации взвешенных наносов с нормативно допустимым.

Основными факторами увеличения концентрации взвешенных наносов при строительстве морских газопроводов являются подготовка морского дна для укладки трубопровода путем сооружения гравийных опор в углублениях дна во избежание провисания трубы (*pre-lay rock dumping*) и последующая её засыпка гравием (*post-lay rock dumping*) для достижения устойчивости трубы на дне при транспортировке газа, а также сама укладка труб газопровода. Дноуглубительные работы в бухте Портовая при заглублении трубопровода в дно и пересечении береговой линии также могут привести к увеличению мутности вод. Оценки количества донных отложений, переходящих во взвешенное состояние в результате взаимодействия падающего гравия с дном при проведении отсыпок (Проект..., 2008; Offshore..., 2007), показывают, что при данной концентрации взвешенных частиц возможно их гидродинамическое взаимодействие (Гришин, 1982).

Следует отметить, что Балтийское море относительно мелководное, поэтому большое количество взвешенного вещества образуется в результате вертикального перемешивания (взмучивания) при сильном волнении на мелководье. Прозрачность балтийских вод постоянно падает. Так, например, в Северной Балтике она снизилась с 9 м (по диску Секки) в

1914-1939 гг. до 6 м в настоящее время (Hopkins, 2000). Эта же тенденция наблюдается в Южной Балтике и в ряде прибрежных зон.

Взмучивание вод происходит наиболее интенсивно в осенне-зимний период, когда скорость ветра наибольшая. Численные эксперименты по образованию и переносу взвешенного вещества в Балтийском море показали, что во многих случаях взвешенное вещество распространяется от поверхности до дна (Kuhrt et al., 2004).

Инструментальный мониторинг распространения мутности проводился по всей трассе газопровода Nord Stream (Overall Environmental..., 2010), в том числе и в водах Российской Федерации (Документация..., 2009). Кроме этого, учитывая пожелания российских природоохранных и научных организаций (например, Государственного научно-исследовательского института озёрного и речного рыбного хозяйства Федерального агентства по рыболовству (письмо ГосНИОРХ от 01.07.2010 № 695-1)) с первого дня строительства газопровода в российских водах был организован ежедневный спутниковый мониторинг под руководством одного из авторов настоящей работы.

Целесообразность проведения спутникового мониторинга строительства газопровода Nord Stream отмечалась в различных научных публикациях (Kostianoy et al., 2008a, b; Костяной, Тетушкина, 2010) и при разработке системы производственного экологического мониторинга и контроля проекта Nord Stream (Ermakov et al., 2007).

О проведении спутникового мониторинга при строительстве морского газопровода Nord Stream в российских водах

В задачи спутникового мониторинга процесса строительства морского газопровода Nord Stream входило:

1. Выявление очагов мутных вод в районе строительства российской секции газопровода и в окружающих водах восточной части Финского залива.
2. Определение ареалов распространения взвешенного вещества.
3. Разграничение эффектов антропогенного воздействия от строительства газопровода и естественных природных процессов, приводящих к повышению мутности вод.
4. Мониторинг трансграничного переноса взвешенных веществ.

Для целей спутникового мониторинга были использованы все информативные (безоблачные по трассе газопровода) космические снимки, полученные со спектрорадиометров среднего разрешения (250–1000 м) MODIS, установленных на спутниках Terra и Aqua (НАСА, США), и спектрометра среднего разрешения (260 м) MERIS, установленного на спутнике Envisat (Европейское космическое агентство).

На протяжении многих лет эти приборы активно используются для наблюдения за цветом океана/моря в открытом океане (чистые воды) или в прибрежной зоне (мутные воды). Эти измерения используются, в частности, для определения пространственного распределения взвешенного вещества и получения оценки их концентрации.

В случае данных MODIS ареалы распространения взвешенного вещества определялись визуально по изображениям, построенным в естественных цветах по комбинации оптических каналов 1-4-3 (RGB). Отличительной характеристикой спектрометра MERIS является возможность рассчитывать концентрацию общего взвешенного вещества (TSM – Total Suspended Matter) в абсолютных единицах ($\text{г}/\text{м}^3$) и строить карты с пространственным разрешением 260 м.

Это позволяет не только рассчитывать площади взмученных вод, но и более точно оценивать их концентрацию. Недостатком MERIS (в отличие от MODIS) является отсутствие данных в свободном доступе и не ежедневное покрытие исследуемого района. Именно поэтому для мониторинга распределения взвешенного вещества в Финском заливе использовались данные как MODIS, так и MERIS.

Результаты спутникового мониторинга при строительстве морского газопровода Nord Stream в российских водах

Работы на российской акватории (отсыпки гравийной смеси) были начаты 12 мая 2010 года. Достаточно ясная погода продержалась до 16 августа (затем облачные условия, к сожалению, сохранялись до 29 сентября и практически весь ноябрь и декабрь), благодаря чему удалось оперативно получить, обработать и проанализировать лишь 26 изображений MODIS и 23 изображения MERIS за 37 безоблачных дней в общей сложности.

Наиболее четко формирование полей взвеси, относящихся к строительству российской секции газопровода Nord Stream, прослеживается в бухте Портовая при строительстве дамб и проведении дноуглубительных работ. Спутниковые изображения за 23 и 28 июня, 4, 5, 12, 14 и 20 июля и 16 августа действительно показали очаги взмученных вод в бухте Портовой (рис. 2).

При этом концентрации взвеси в очагах наиболее мутных вод на всех снимках были намного меньше оценочных величин, указанных в технико-экономическом обосновании (ТЭО) проекта Nord Stream (Проект..., 2008), согласованном Государственной экологической экспертизой, а превышение ПДК по российским нормам ($\text{ПДК} = 10 \text{ мг}/\text{дм}^3$ или $10 \text{ г}/\text{м}^3$) наблюдалось только 23 июня, 28 июня и 4 июля (до $15 \text{ г}/\text{м}^3$). В эти дни площади вод с превышением ПДК составляли 2, 8 и 1 км^2 , соответственно. В другие дни площади взмученных вод составляли также единицы квадратных километров, но их концентрации не превышали $6 \text{ г}/\text{м}^3$ ($6 \text{ мг}/\text{дм}^3$).

Сравнение концентраций взвешенного вещества по спутниковым данным MERIS Envisat и по натурным наблюдениям 12 июля (по 24 точкам) показало, что спутниковые данные могут занижать абсолютные значения концентраций взвеси в 2,5 раза и более. Строго говоря, этот результат нельзя обобщать и на другие снимки, поскольку разница по времени между пролетом спутника и измерениями достигала 4 часов и правильная калибровка требует большой методической работы и многочисленных подспутниковых экспериментов.

Поскольку специальных детальных подспутниковых калибровочных экспериментов не проводилось, то спутниковые карты строились на основе алгоритма программы обработки спутниковых изображений Beam-Visat, предлагаемого Европейским космическим агентством для спектрометра MERIS для случая прибрежных вод.

Даже с учетом этой поправки для спутниковых изображений за 5, 12, 14 и 20 июля и 16 августа площади взмученных вод в бухте Портовая могут увеличиться не более, чем в 2 раза, а максимальные концентрации взвеси не превысят $15 \text{ г}/\text{м}^3$, т.е. будут намного меньше пороговых величин, указанных в документации (ТЭО) проекта Nord Stream, одобренной Государственной экологической экспертизой.

Что касается влияния отсыпок гравия на формирование полей взвешенных наносов в районе о. Гогланд, то по данным космического мониторинга такое влияние отсутствует. Ни на одном снимке не было обнаружено ни одного очага повышенной мутности, привязанного к трассе газопровода Nord Stream не только в районе Гогланда, но и по всей трассе газопровода в российских водах. На рис. 3 представлено спутниковое изображение района работ за 4 июля 2010 г., когда наблюдалась максимальная мутность вод ($4 \text{ г}/\text{м}^3$), причем она явно была вызвана трансграничным переносом вод из акватории Финляндии, а не работами по отсыпке гравия, поскольку 2–4 июля эти работы вообще не проводились.

По данным Финского института окружающей среды (Finnish Environment Institute (SYKE), www.environment.fi/turbidity) 4 июля 2010 г. между берегом Финляндии и островом Гогланд наблюдалась обширная область взмученных вод, источником которых, судя по концентрациям взвеси, являлись прибрежные воды Финляндии. Эта ситуация существовала в течение первых двух недель июля 2010 г., что хорошо видно на композитной карте (рис. 4).

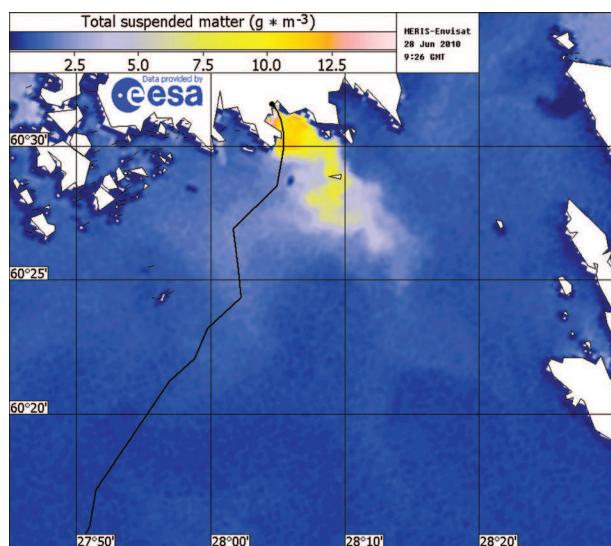


Рис. 2. Пространственное распределение взвеси в поверхностном слое Финского залива 28 июня 2010 г. (09:26 GMT) по данным MERIS Envisat (©2010, ESA) (черная линия – трасса газопровода Nord Stream)

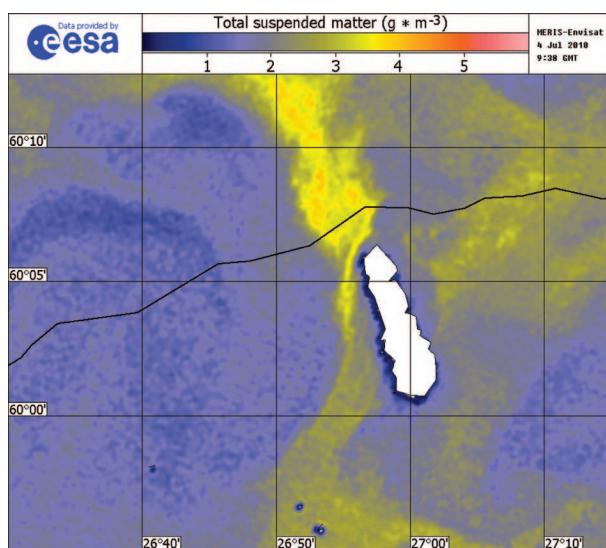


Рис. 3. Пространственное распределение взвеси в поверхностном слое Финского залива в районе о. Гогланд 4 июля 2010 г. (09:38 GMT) по данным MERIS Envisat (©2010, ESA)

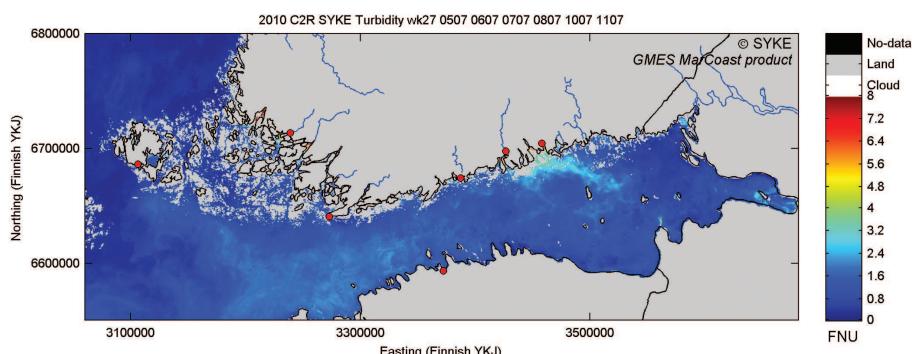


Рис. 4. Композитная карта мутности вод Финского залива (FNU), построенная по данным спектрометра MERIS за 5–11 июля 2010 г. Finnish Environment Institute (SYKE) Marcoast service for turbidity www.environment.fi/turbidity (Envisat MERIS data by ESA, processing by SYKE in the GMES/Downstream framework in ESA Mar-Coast 2 project). Accessed for information on 25 November 2010

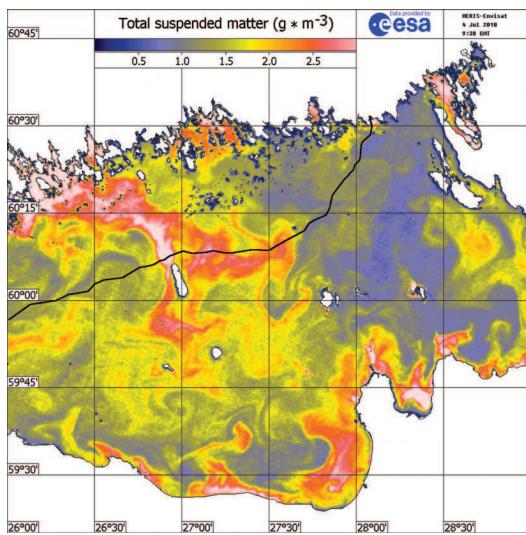


Рис. 5. Пространственное распределение взвеси в поверхностном слое Финского залива 4 июля 2010 г. (09:38 GMT) по данным MERIS Envisat (©2010, ESA)

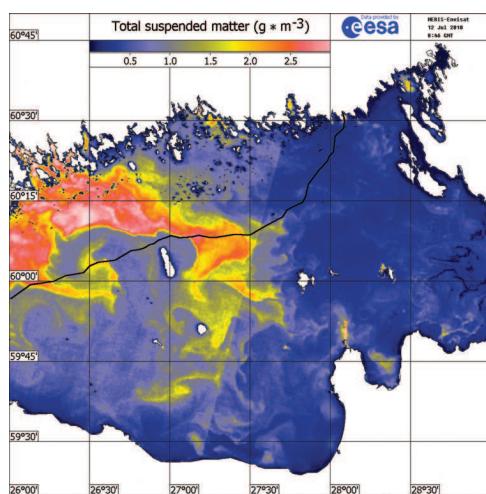


Рис. 6. Пространственное распределение взвеси в поверхностном слое Финского залива 12 июля 2010 г. (08:46 GMT) по данным MERIS Envisat (©2010, ESA)

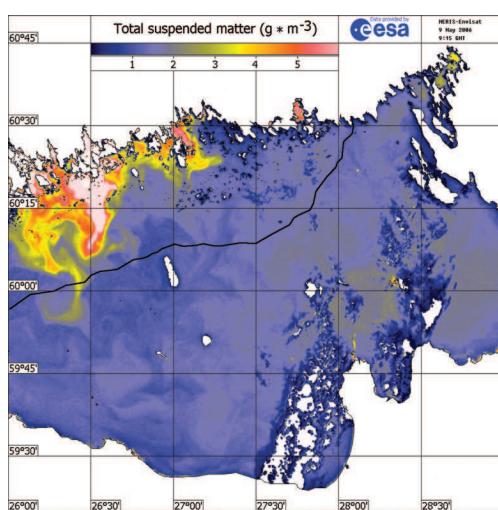


Рис. 7. Пространственное распределение взвеси в поверхностном слое Финского залива 9 мая 2006 г. (09:15 GMT) – до начала строительства газопровода Nord Stream по данным MERIS Envisat (©2006, ESA)

Сравнение влияния антропогенного воздействия при строительстве морского газопровода Nord Stream и влияния природных процессов на распространение взвешенных наносов в Финском заливе

В период с 12 мая по 30 сентября 2010 года вдоль побережий Финляндии, Эстонии, южного берега России и в Выборгском заливе периодически появлялись шлейфы взмученных вод, источником которых, по-видимому, является ветро-волновое перемешивание прибрежных вод и сток мелких рек после проходивших дождей. Площадь этих вод с повышенным содержанием взвеси (в результате естественных факторов) в отдельных местах составляла десятки и сотни км², а в июле 2010 г. она достигла тысячи км² (рис. 5).

По данным спектрометра MERIS (спутник Envisat), абсолютные концентрации взвешенного вещества в относительно взмученных водах достигали 8–10 г/м³. Эти величины подтверждаются композитными спутниковыми картами мутности вод Финского залива Финского института окружающей среды. Кроме того, очаги наиболее мутных вод (по концентрациям взвеси) наблюдались именно на южном берегу Финского залива вдоль берегов Эстонии и России.

Следует отметить, что мезомасштабные и мелкомасштабные вихревые структуры (вихри, струи и диполи с характерным горизонтальным масштабом 5–30 км) существенным образом влияют на перераспределение взвеси в море и могут выносить воды с повышенным содержанием взвеси на расстояния до 50–100 км от берега (рис. 5).

Трансграничный перенос взвешенного вещества является важным фактором увеличения мутности вод в соответствующих районах Финского залива. В июле 2010 г. в течение 2 недель наблюдался перенос взмученных вод (до 4 г/м³) с акватории Финляндии на акваторию Российской Федерации, в том числе на трассу морского газопровода Nord Stream (рис. 5 и 6). Этот факт однозначно подтверждается серией спутниковых изображений за 4–15 июля 2010 г. и отсутствием работ по отсыпке грунта. Перенос взмученных вод из районов строительства газопровода на акваторию Финляндии на полученных спутниковых изображениях зафиксирован не был.

На изображении от 4 июля 2010 г. (рис. 5) наблюдаются очаги сильно взмученных вод практически вдоль всего южного побережья Финского залива (Эстония и Россия), вдоль побережья Финляндии, в Выборгском заливе и ареал взмученных вод в бухте Портовой.

Наиболее интересной и масштабной областью вод с повышенной концентрацией взвеси является район между берегом Финляндии в районе 26–26°30' в.д. и островом Гогланд. Судя по максимуму концентрации взвеси, источником взвеси является прибрежный район Финляндии, однако, другой максимум находится между островом Гогланд и трассой газопровода. С другой стороны, вид этого шлейфа говорит о том, что он двигался от берега до острова Гогланд (55 км), затем расщепился на 2 струи – восточную длиной 45 км и южную длиной 40 км. Ширина шлейфа у берега – 40 км, в мористой части – 5–10 км. Концы взмученных струй размываются в разных направлениях мезомасштабными вихрями диаметром 5–10 км.

На изображении от 12 июля 2010 г. (рис. 6) очаги взмученных вод вдоль всего южного побережья Финского залива (Эстония и Россия) и в бухте Портовая практически исчезли, а в Выборгском заливе – остались. Масштабная область вод с повышенной концентрацией взвеси между берегом Финляндии и о. Гогланд за несколько суток изменилась под действием ветра и течений. Максимум концентрации взвеси по-прежнему находится у берега Финляндии, а масштабы струи практически не уменьшились.

Источником взвеси является район прибрежных вод Финляндии, шлейф которых обходит о. Гогланд с востока и тянется на юг уже в виде пятнистой структуры до границы с Эстонией. Общая длина этого шлейфа достигает 140 км при ширине 5–20 км. Новая струя взмученных вод «потеряла» свой антициклонический вихрь и теперь движется на восток с

циклоническим вихрем на конце струи. Вся область взмученных вод размывается мезомасштабными и мелкомасштабными вихревыми структурами.

На рисунке 7 представлен пример ареала распространения взвешенного вещества до начала строительства газопровода, который нанесен на спутниковое изображение в виде черной линии. Источником взвеси являются естественные природные процессы и явления, которые периодически наблюдаются в различных районах Финского залива. В данном примере, как и в ряде других случаев, наблюдались очаги взмученных вод у побережья Финляндии, в которых концентрация взвеси была достаточно велика. Эти данные подтверждаются и картами мутности Финского института окружающей среды за 2006–2009 гг.

Выводы

Таким образом, анализ результатов спутникового мониторинга в совокупности с анализом метеорологической информации позволяет разграничить и оценить количественно эффекты антропогенного воздействия и естественных процессов взмучивания вод Балтики (Отчет..., 2011). Полученные в 2010 году результаты позволяют прийти к выводу о том, что пространственные масштабы областей повышенной мутности вод за счет естественных процессов могут в десятки и сотни раз превышать масштабы ареалов распространения взвешенного вещества, обусловленных антропогенным воздействием – строительством российской секции газопровода Nord Stream.

Литература

1. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М.: Госстандарт СССР. Переиздание. 1988.
2. *Гришин Н.Н.* Механика придонных наносов. М.: Наука, 1982, 160 с.
3. *Гришин Н.Н.* Оценка воздействия на окружающую среду российской секции морского газопровода Nord Stream в рамках национального законодательства // Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду. Москва, Изд-во ЦЕНТРЭКОПРОЕКТ, 2007а, №2, С. 50–60.
4. *Гришин Н.Н.* Оценка воздействия на окружающую среду проекта Nord Stream в рамках Конвенции Эспо. Доклады VII Международного экологического форума «День Балтийского моря» (Санкт-Петербург, 22–23 марта 2007 г.) СПб., Изд-во «Диалог», 2007б, С. 220–222.
5. Документация по оценке воздействия на окружающую среду, разработанная Nord Stream для проведения консультаций в рамках Конвенции Эспо. Приложение. Обзор национальной ОВОС – Россия. 79 с. Nord Stream AG. 2009. <http://www.nord-stream.com/ru/informatsiya/biblioteka/page=3>.
6. Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте. ООН/ЕЭК ООН. Нью-Йорк и Женева. ECE/ENHS/NONE/3. 1994.
7. *Костяной А.Г., Тетушкина Е.С.* О необходимости спутникового мониторинга строительства газопровода «Норд Стим» в Балтийском море // Тезисы докл. VIII Всеросс. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 15–19 ноября 2010 г.
8. Отчёт об экологическом мониторинге при строительстве российского сектора морского газопровода Nord Stream за 2010 год. Nord Stream AG. М., 2011, 342 с.
9. Проект строительства морского газопровода Nord Stream (российский сектор). Том 8. Охрана окружающей среды. Книга 1. Морской участок. Часть 1. Оценка воздействия на окружающую среду. Nord Stream AG / ООО «Питер Газ». М., Питер Газ, 2008. 802 с.
10. *Ermakov P.N., Cherevichenko E.O., Kostyanoy A.G.* Industrial environmental monitoring and control of the environmental legislation in construction and operation of the offshore section of the North-European Gas Pipeline // Proceedings of VIII International Environmental Forum “Baltic Sea Day”, St.-Petersburg, 21-23 March 2007. “Dialog” Publ. House, St.-Petersburg, 2007. P. 236–240.

11. Hopkins C.C.E. Overview of monitoring in the Baltic Sea. Report to the Global Environment Facility/Baltic Sea Regional Project. AquaMarine Advisers. 2000, 39 pp.
12. Kostianoy A.G., Ermakov P.N., Soloviev D.M. "Nord Stream": Satellite monitoring of the gas pipeline construction // Proceedings of IX International Environmental Forum "Baltic Sea Day", St.-Petersburg, 11-13 March 2008. "Dialog" Publ. House, St.-Petersburg, 2008a. P. 236–240.
13. Kostianoy A., Ermakov P., Soloviev D. Complex satellite monitoring of the Nord Stream gas pipeline construction // Proceedings of US/EU Baltic 2008 International Symposium "Ocean Observations, Ecosystem-Based Management and Forecasting", May 27–29, 2008b, Tallinn, Estonia, 2008.
14. Kuhrt C., Fennel W., Seifert T. Model studies of transport of sedimentary material in the western Baltic // J. Marine Systems. 2004. V.52. P. 167-190.
15. Offshore pipeline through the Baltic Sea. Memo 4.3A-5. Spreading of sediment and contaminants during works in the seabed. Ramboll. November 2007.
16. Overall Environmental and Social Monitoring Programme. Nord Stream Project. October 2010, Document No. G-PE-EMS-MON-100-08010000. 188 pp. <http://www.nord-stream.com/ru/ekologiya/monitoring-okruzhayushchei-sredy/>

On satellite monitoring of suspended matter transport during the construction of an offshore gas pipeline Nord Stream in Russian waters of the Baltic Sea in 2010

N.N. Grishin¹, A.G. Kostianoy²

¹ *Nord Stream AG*

7, build. 3, Znamenka Str., Moscow, 119019, Russia

E-mail: nng321@gmail.com

² *P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,*

36, Nakhimovsky Pr., Moscow, 117997, Russia

E-mail: kostianoy@gmail.com

This paper presents results of satellite monitoring of construction of the Russian section of the Nord Stream Offshore Gas Pipeline in the Baltic Sea in 2010. The results include assessment of the size and concentration of suspended matter caused by gravel damping and pipelaying. The results show that the anthropogenic fields of suspended matter caused by construction of the offshore gas pipeline are much smaller than those related to natural processes.

Keywords: Nord Stream, the offshore gas pipeline, the Baltic Sea, satellite monitoring, suspended matter, anthropogenic impact.