

*Д.В. Рябчук, Е.Н. Нестерова, В.А. Жамойда, А. Котилайнен, Г. Валлиус,
Л.Л. Сухачева, М.А. Спиридонов*

**ДИНАМИКА СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕВСКОЙ ГУБЕ
(ФИНСКИЙ ЗАЛИВ) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

*D.V. Ryabchuk, E.N. Nesterova, V.A. Zhamoida, A. Kotilainen, H. Vallius,
L.L. Sukhacheva, M.A. Spiridonov*

**DYNAMICS OF SEDIMENTATION PROCESSES IN THE NEVA BAY
(THE GULF OF FINLAND) UNDER INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC
FACTORS**

Результаты полевых работ и лабораторных исследований, анализ материалов дистанционного зондирования, архивных и литературных данных показывает, что характер седиментационных процессов в Невской губе значительно изменился на протяжении последних 300 лет. В результате комплекса природных и техногенных факторов в Невской губе создались условия для формирования алевро-пелитовых илов. В настоящее время рельеф и поверхностный осадочный покров дна Губы практически полностью изменен техногенными процессами.

Ключевые слова: седиментационные процессы, Финский залив, Невская губа, техногенные факторы.

Results of marine geological investigations of the eastern Gulf of Finland as well as analysis of remote sensing data, archive and literature data permit to conclude that during last three centuries the sedimentation processes in the Neva Bay have changed the special conditions of mud accumulation in the western part of the Neva Bay have developed. Significant part of the bottom relief and surface sediments is completely transformed by technogenic processes.

Key words: sedimentation processes, the Gulf of Finland, the Neva Bay, anthropogenic factors.

Невская губа — наиболее мелководная, восточная часть Финского залива. Длина Губы — 21 км, максимальная ширина — 15 км, площадь водного зеркала — 329 км². Максимальные естественные глубины в пределах акватории не превышают 5–6 м [12]. После завершения строительства Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС) Невская губа фактически превратилась в специфическую «техногенную лагуну» — внутреннюю морскую акваторию мегаполиса.

Техногенное воздействие на дно Невской губы и ее берега началось с основания Санкт-Петербурга. На искусственных островах в акватории было возведено 17 фортов. Первый форт «Кроншлот» был построен в 1704 г. по проекту и под руководством самого Петра I. Между островом Котлин и берегами Губы в XVIII–XIX вв. были сооружены ряжевые преграды, представляющие собой линии затопленных деревянных срубов, заполненных камнем. В 1885 г. закончилось строительство Морского канала, глубины

в котором достигали 12 м. В XX в. проводились масштабные работы по углублению фарватеров, подводной добыче песка, в 1979 г. началось строительство Комплекса защитных сооружений Ленинграда от наводнений (КЗС). По дну были также проложены многочисленные кабели, частично заглубленные в подводные траншеи. В конце 1980-х — начале 1990-х гг. в юго-восточной части Губы производились гидротехнические работы по намыву новых городских территорий.

Новый этап мощного техногенного воздействия начался в 2006 г. в связи с выполнением проекта «Морской фасад», в ходе которого осуществляются масштабные работы созданию новых территорий на площади 476,7 га с использованием технологии гидронамыва, строительству пассажирского портового терминала и углублению фарватеров. Одновременно продолжаются работы по отвалу грунтов в районе подводных свалок «Северная Лахта» и «Южная Лахта» [8, 30]. Гидротехнические работы ведутся также в районе порта Бронка и КЗС [29].

Исследования изменений геологической среды Невской губы в результате комплекса техногенных процессов являются важной составной частью оценки воздействия техногенеза на природную среду восточной части Финского залива в целом и необходимы для выработки эффективных и научно-обоснованных мер по рациональному природопользованию.

Материалы и методы исследования

Данные о строении верхней части геологического разреза и распределении поверхностных донных осадочных образований в пределах дна Невской губы были получены ВСЕГЕИ в ходе геолого-съёмочных и эколого-геологических работ в восточной части Финского залива. В 1987—1989 гг. была проведена генетическая типизация осадков Невской губы, дана характеристика современных условий осадконакопления и составлены ее литологическая, лито-фациальная и геохимическая карты масштаба 1:100 000 [1]. В 1991—1993 гг. были организованы эколого-геологические исследования в юго-восточной части Невской губы. В 1994 г. завершилась производственная геологическая съёмка шельфа в масштабе 1:200 000 (ГСШ-200) восточной части Финского залива с Невской губой, в ходе которой удалось уточнить литологический состав донных осадков Невской губы, установить основные закономерности распределения фациальных типов поверхностных донных отложений и выявить тенденции их развития. В 1993—1995 гг. в Невской губе было начат геоэкологический (эколого-геологический) мониторинг [24], выделены и закартированы основные техногенные фациальные обстановки [5].

В 2004 г. ВСЕГЕИ были выполнены геолого-геофизические исследования с применением гидролокатора бокового обзора (ГЛБО) (аппаратура «СМ2» фирмы С-МАХ, Англия) в западной части Невской губы по 107 профилям. Протяженность профилей ГЛБО составила 550 км. Работы сопровождались эхолотным промером глубин. С целью проверки и интерпретации данных ГЛБО выполнено 52 станции пробоотбора донных осадков. Полученные полосовые изображения ГЛБО (сонограммы) обработаны с применением компьютерной программы «ОСТОПУС», позволяющей получать площадную акустическую картину дна. На основе интерпретации сонограмм и мозаики

ГЛБО, заверенных донным пробоотбором, составлена фактографическая карта донных осадков и техногенных объектов западной части Невской губы масштаба 1:25 000 [26].

В 2004–2005 гг. были также осуществлены российско-финские исследования современных илов Невской губы. В ходе экспедиции ВСЕГЕИ с участием специалистов Геологической Службы Финляндии (ГТК) с помощью герметичной грунтовой трубки были отобраны 10 колонок донных осадков. Колонки были опробованы с интервалом 1 см и проанализированы в лаборатории Геологической Службы Финляндии на содержание тяжелых металлов (ICP-AES и ICP-MS) и ^{137}Cs (гамма-спектрометрия).

В 2007–2010 гг. ВСЕГЕИ были выполнены комплексные исследования геологической среды прибрежных мелководий Невской губы (по заказу Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга и ФГУП «Минерал») и районов подводных отвалов грунта (по заказу Балтийской Дирекции по обеспечению надзора на море, совместно с Российским государственным гидрометеорологическим университетом (РГГМУ). Общий объем геофизического профилирования составил более 400 км (ГЛБО, геолокация). Было отобрано и проанализировано 180 образцов донных осадков. По ряду профилей исследования ведутся в режиме повторных съемок, что позволяет получать информацию о динамике рельефа и осадочного покрова дна Губы.

Кроме того, для анализа многолетних тенденций изменения седиментационных процессов были использованы результаты аэрофото- и космосъемки ФГУП НИИ-КАМ, литературные данные и архивные (в том числе картографические) материалы Российского государственного архива (РГА) ВМФ.

Седиментационные процессы в Невской губе

Поверхностные осадки дна Невской губы представлены широким спектром гранулометрических разновидностей от грубообломочных отложений до пелитово-алевритовых илов (рис.1).

Расчетная глубина волнового воздействия в Невской губе может достигать 8 м [1], поэтому практически вся ее донная поверхность, естественные глубины в которой, как правило, не превышают 5 м, в той или иной степени относится к площади волнового поля. Тем не менее, в западной части Невской губы, характеризующейся максимальными естественными глубинами (более 4 м), в настоящее время развиты пелитовые алевриты и алевро-пелиты.

Следует отметить, что устойчивая аккумуляция илов в восточной части Финского залива за пределами Невской губы происходит, как правило, во впадинах донного рельефа («геоморфологических ловушках») на глубинах более 20–30 м. Анализируя данные, полученные в ходе работ ВСЕГЕИ с 1987 по 1990 г. в Невской губе, В.П. Бутылин впервые высказал предположение о том, что слой илов, лежащих на литориновых песках и имеющий мощность от 0,4 до 1,0 м, является чрезвычайно молодым. Ранее (в позднем голоцене) условий для накопления алевро-пелитовых осадков в Невской губе не существовало. Об этом свидетельствовала однородность описываемого слоя по геохимическим параметрам, а также отчетливо проявленное загрязнение илов техногенными поллютантами — тяжелыми металлами, нефтепродуктами и т.д. [1].

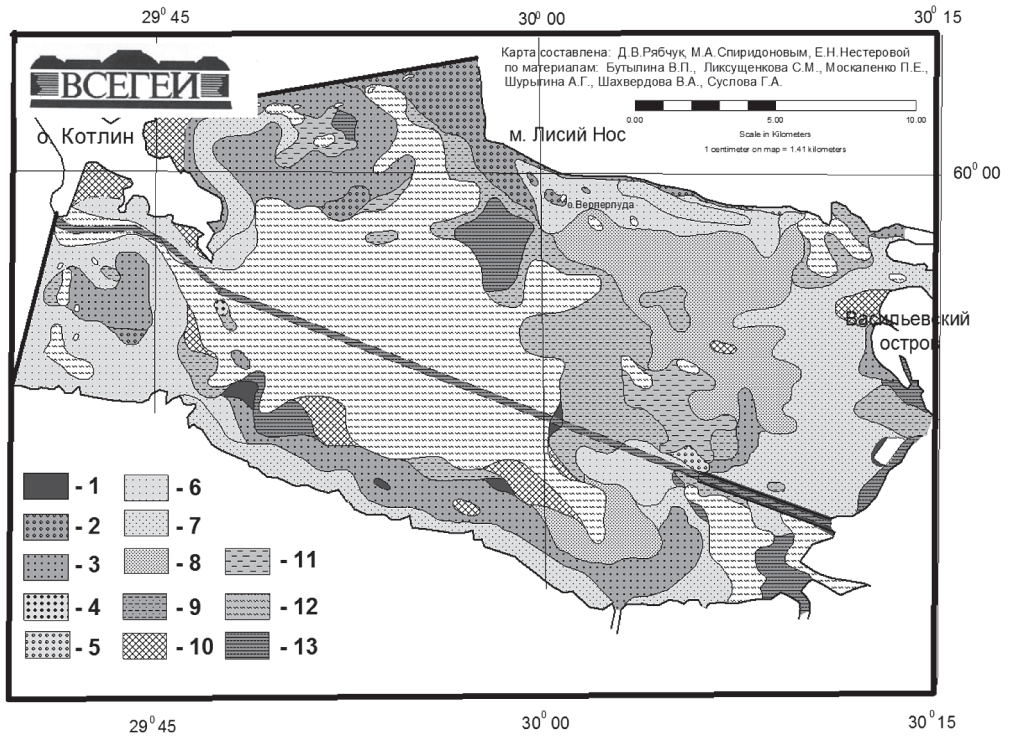


Рис.1. Карта распределения поверхностных донных отложений в Невской губе (по результатам геологических исследований ВСЕГЕИ в 1987–2002 гг.)

Условные обозначения: 1 — грубообломочные отложения; 2 — пески с гравием и галькой; 3–8 — пески: 3 — разнозернистые; 4 — грубо-крупнозернистые; 5 — крупно-среднезернистые; 6 — средне-мелкозернистые; 7 — мелкозернистые; 8 — тонкозернистые; 9 — пески алевритовые; 10 — алевриты песчано-глинистые; 11 — алевриты; 12 — илы пелитово-алевритовые; 13 — подводные обнажения

Изучение архивных материалов позволило получить интересные данные, подтверждающие эти выводы. Наиболее ранний из дошедших до нашего времени судовых гидрографических журналов с описанием «грунтов» датируется 1751 г. (РГА ВМФ, 913-1-79). Схематические описания донных осадков стали обязательными при гидрографических работах с начала XIX в. согласно инструкции директора гидрографического депо Главного Морского Штаба генерал-майора Шуберта «О съемках Балтийского моря в 1829 году», которая содержала требование о ведении журнала, где в каждой точке указывались бы глубины (по лотлинию или футштоку), привязка судна, а также «качество грунта» (РГА ВМФ, 402-1-248). С 1860 г. обозначения типов донных осадков (камень, песок, мелкий песок, ил, хрящ (дресва)) появились на навигационных картах.

Проанализировав записи журнала гидрографических работ за 1751 г. (РГА ВМФ, 913-1-79) и используя карты Невской губы 1768 и 1805 г. (РГА ВМФ 1331-4-302, 1331-4-333), оказалось возможным осуществить приблизительную привязку точек опробования и галсов промерных работ (рис. 2). При работе с архивными материалами

точность привязки может оказаться достаточно серьезной проблемой. В данном случае решению этой проблемы помогла специфика Невской губы — привязка в XVIII в. осуществлялась, как правило, с использованием в качестве ориентиров шпилей соборов и естественных объектов (мысов) (рис. 3).

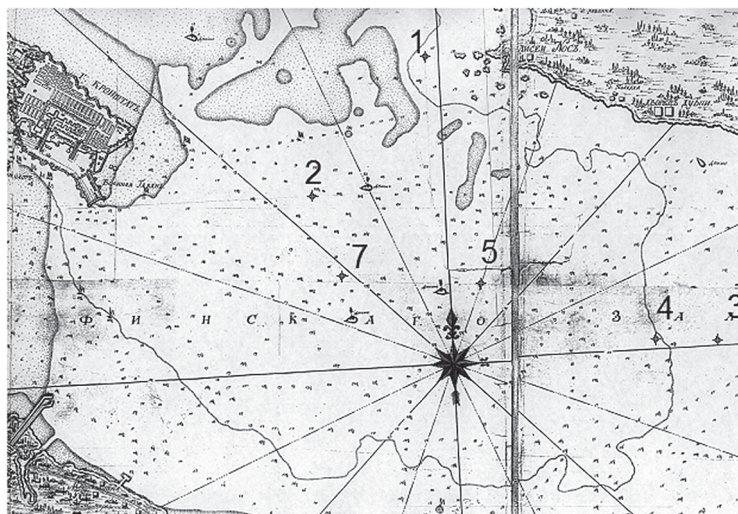


Рис. 2. Фрагмент карты Невской губы 1805 г. (западная часть) с приблизительным обозначением станций пробоотбора по журналу 1751 г.

Путь в глубинах 2¼ 2¼ 2¼ 2¼ 2¼ 2¼ 2¼
 2¼ сажень глубина
 тогда лес в море NW. 25.00
 Царь в доловские NW. 67.00
 Пятёрковъ SW. 47.00
 Стрелная ограда — 50. 2.00
 Дудрова вера — 50. 5.00
 Ручья в ветру тогда SW. 81.00
 путь в глубинах 2¼ 2¼ 2¼ 2¼ 2¼ 2¼ 2¼
 2¼ 2¼
 тогда лес в море NW. 8.00
 Царь в доловские NW. 67.00
 Пятёрковъ SW. 37.00
 Стрелная ограда — 50. 9.00
 Ручья в ветру тогда SW. 48.00
 Путь в глубинах 2¼ 2¼ 2¼ 2¼ 3 п. 10"
 тогда лес в море на N
 Царь в доловские NW. 67.00
 Пятёрковъ SW. 29.00
 расшив Голд — SW. 72.00
 Дудрова вера — 50. 10.00
 Ручья в ветру тогда SW. 77.00

Рис. 3. Фрагмент страницы бортового журнала гальета «Рак» (штурманы Василий Раков и Матвей Верховец, 1751 г.) с привязкой профиля гидрографического промера (РГА ВМФ, 913-1-79)

В районе условно поставленной нами точки 1 (рис. 2) при промере 1751 г. шесть раз упоминается «песок» и три раза — «камень», что полностью соответствует современной ситуации (поле гравийных песков зоны размыва). При промере в районе точек 2, 4, 5 и 7, т.е. в зоне, где в настоящее время развиты алевро-пелитовые илы, в 1751 г. описан песчаный грунт (рис. 2).

Илистые осадки упоминаются при промере в восточной части губы, в районе точки 3 описан переход от ила к песку «... пошли на WNW, глубина была 2, 2, 2, 2, 2 сажени грунт ил 2, 2, 2, 2 сажени песок 2, 2, 2, 2, 2.25 сажени песок мелкий...» (РГА ВМФ, 913-1-79, с.192). При этом под «илом» в данном случае, по-видимому, понимаются разжиженные алевритовые и песчано-алееритовые осадки, широко развитые в восточной части Губы и в настоящее время.

На навигационных картах конца XIX в. в понижении дна в западной части Губы, где в настоящее время происходит образование илов, обозначены пески и мелкие пески (рис. 4).

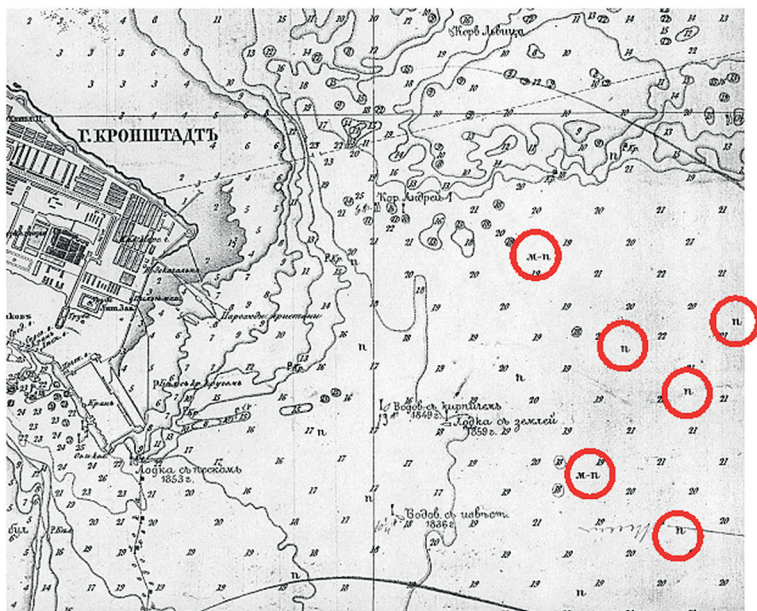


Рис. 4. Фрагмент карты Невской губы, 1860 г. (РГА ВМФ, 1331-11-514). Отмечены обозначения типа грунта «п» (песок) и «м-п» (мелкий песок)

В 1920–1924 гг. профессором К.М. Дерюгиным — основателем первой в вузах страны кафедры Ихтиологии и гидробиологии с объединенными гидробиологической и ихтиологической направленностями в учебном процессе (в Ленинградском государственном университете) [10] были организованы комплексные экспедиции в Невской губе, в ходе которых отбирались пробы донных осадков. Основные станции наблюдения были расположены по линии Новый Петергоф — Лисий Нос, что позволило

выявить латеральные изменения поверхностных осадков в западной части Губы. С юга на север К.М. Дерюгиным были выделены области развития «смешанных грунтов», где «галка, камни и крупный песок» залегали на поверхности глин; илисто-глинистые осадки, развитые в центральной части «западной котловины» (станции II, III) и «речные пески типа гравия» в районе Лисьего Носа [6] (рис. 5).

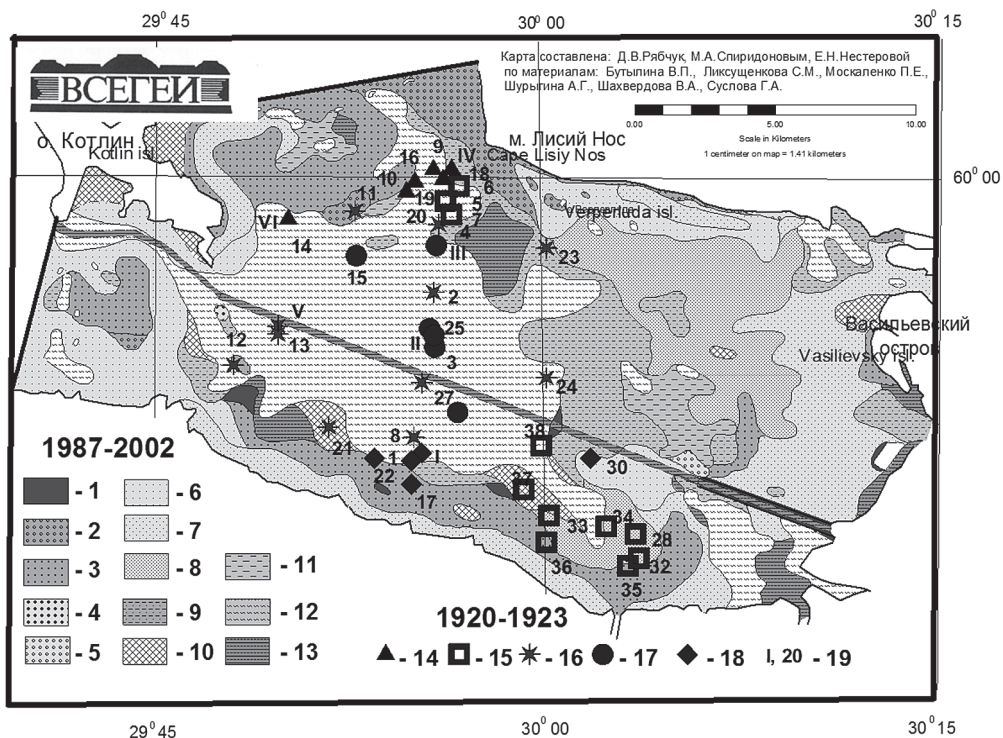


Рис. 5. Сравнение типов поверхностных осадков Невской губы по современным данным и материалам экспедиции К.С. Дерюгина (1920–1923 гг.).
 Условные обозначения: 1–13 – на рис. 1; 14–19 – точки опробования экспедиции 1920–1923 гг.:
 14 – пески с гравием; 15 – пески; 16 – песчано-глинистые осадки; 17 – алевро-пелитовые илы;
 18 – подводные обнажения; 19 – номера точек опробования

Сравнение результатов работ 1920–1924 гг. с данными последних десятилетий показывает, что к 1920 г. в центральной части губы уже существовало поле алевро-пелитовых осадков, однако оно было значительно меньшим по площади, чем в настоящее время. Выполненные К.М. Дерюгиным гранулометрические анализы образцов позволяют сделать вывод о том, что механический состав илов был аналогичен современному (рис. 6), «илисто-глинистым осадкам» по классификации Дерюгина соответствуют пелитовые алевриты [9].

Интересно, что в своей работе К.М. Дерюгин указывает на ошибочность сведений «Лоции русского берега Балтийского моря», где говорится, что «грунт по всей Невской

губе мелкий песок». Анализ как архивных данных, так и результатов работ последних десятилетий показывает, что мы имеем дело не с ошибкой в Лоции, а с изменением лито-фациальной обстановки в «западной котловине» Невской губы.

К югу от указанной площади в 1920–1924 гг. отмечались осадки, характерные для зоны подводного размыва («обнажения озерных глин с маломощным покровным слоем песков и грубообломочных отложений»), к северу от нее располагалось поле песков и гравелистых песков. К востоку от о-ва Котлин отмечалась переходная зона смешанных (песчано-глинистых) осадков. В районе точек наблюдения 23 и 24 [6] на поверхности дна были описаны осадки, соответствующие песчаным алевритам нашей классификации, таким образом, поле последних было значительно больше, чем в настоящее время. В то же время в юго-восточной части губы К.М. Дерюгиным описаны мелкопесчаные осадки, аналогичные современным. Таким образом, можно констатировать, что седиментационная обстановка в Невской губе значительно изменилась за последние 200–250 лет (рис. 7).

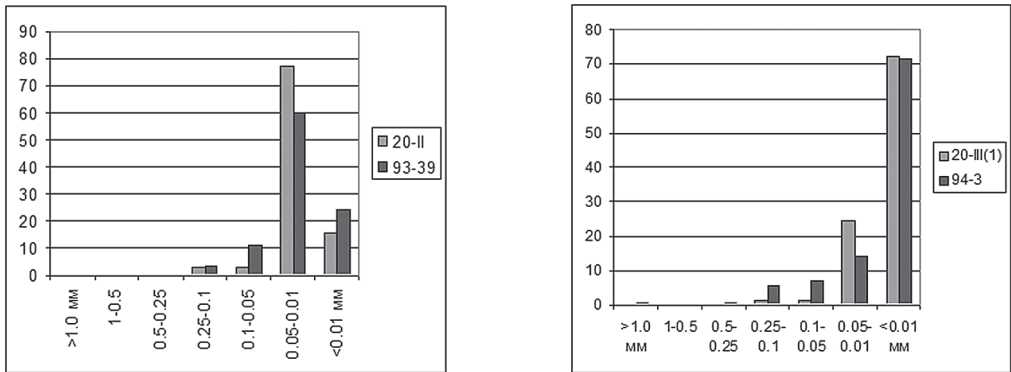


Рис. 6. Сравнительные гистограммы гранулометрического состава глинистых алевритов. Серый цвет — образцы 1920–1923 гг., черный — 1993–1994 гг.

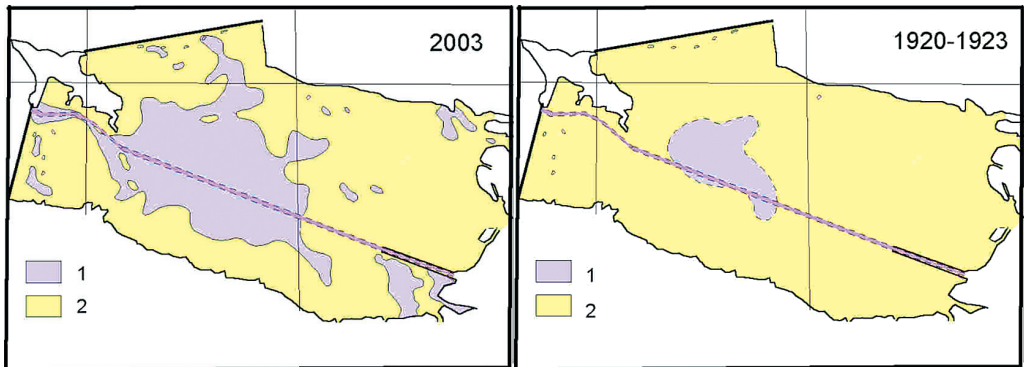


Рис. 7. Область развития алевро-пелитовых илов в начале XX в. и в настоящее время [26]

Полученные результаты были подтверждены в ходе совместных исследования специалистов ВСЕГЕИ и ГТК (2004–2005 гг.). По данным пробоотбора в зоне алевропелитовой аккумуляции, максимальная мощность слоя илов составила 44 см.

Выполненные специалистами ГТК послойные химические анализы (определение содержания Cd, Cu, Zn, Pb методами ICP-AES и ICP-MS) показали, что кривые изменения содержания тяжелых металлов по разрезу колонок сходны между собой (рис. 8).

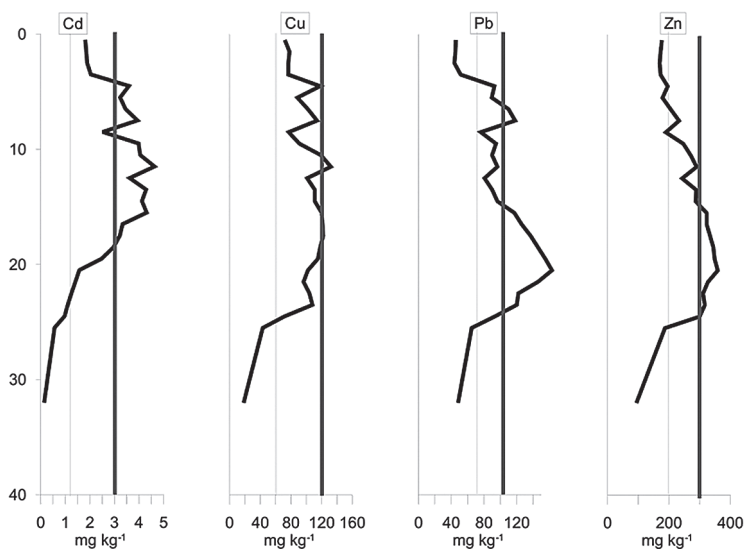


Рис. 8. Кривые изменения концентраций тяжелых металлов в илах Невской губы. По вертикали — интервал опробования в сантиметрах. Вертикальные серые линии соответствуют уровню очень высокого загрязнения (Шведский стандарт (Swedish EPA, Vallius, Leivuori, 2003)) [32]

В колонках четко выделяются осадки, сформировавшиеся в «доиндустриальную эпоху», постепенное нарастание содержания тяжелых металлов в 1950–1990 гг. и уменьшение концентраций на протяжении последнего десятилетия. Весь слой современных илов согласно полученным данным сформировался за промежуток времени около 100 лет [32]. Скорости седиментации илов в центральной части Невской губы составляли 0,2–0,3 см/год.

В результате подводной добычи песка в районе Северной Лахты рельеф здесь приобрел сильно расчлененный характер с чередованием впадин глубиной до 12–14 м и останцов песчаных осадков, вершины которых находятся на глубине 2–3 м (рис. 9). Небольшие по площади участки накопления алевро-пелитового материала, приуроченные к подводным карьерам, были впервые зафиксированы при проведении геологической съемки в районе Лахты, поселка Ольгино, у Васильевского острова, напротив устья рек Малая и Средняя Невка [1]. Подводные карьеры превратились в своеобразные «седиментационные ловушки», скорость осадконакопления могла достигать в 3–5 см/год [1].

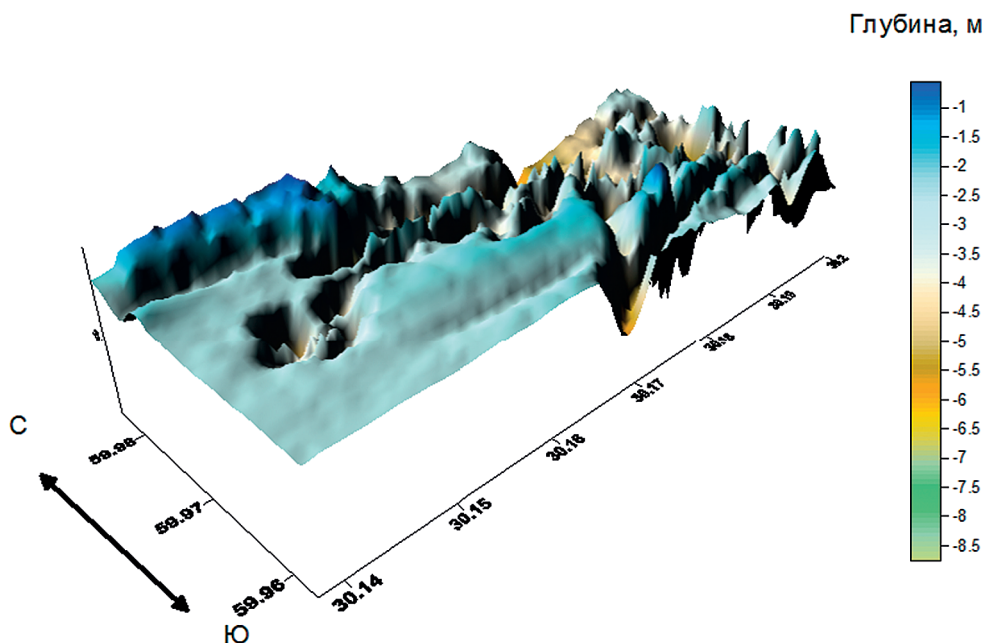


Рис. 9. Трехмерная диаграмма рельефа поверхности дна в районе Северной Лахты

По данным исследований 2004–2005 гг. скорость накопления илов в подводных карьерах района Северной Лахты превышает 1,5 см/год. Осадки однородные, черного цвета, с гнилостным запахом, интенсивно загрязненные нефтепродуктами.

О дальнейшем расширении зоны алевропелитовых илов свидетельствуют также результаты подводных видеонаблюдений, проведенных в 2004 г. Слой обводненных флокулированных илов мощностью до 20 см был обнаружен на эрозионной поверхности валунно-галечного бенча в северо-западной части Невской губы, на глубинах 2–3 м. Очевидно, что в данном случае процесс накопления илов является неустойчивым, так как осадки формируются непосредственно в зоне волнового воздействия.

Процессы слабо проявленного накопления алевро-пелитовых осадков были зафиксированы в ходе наблюдений 2000–2007 гг. в прибрежной зоне в районе о-ва Верперлуда, где в последние годы наблюдается интенсивный рост макрофитов. По данным специалистов НИИКАМ [3], динамика развития зоны макрофитов хорошо видна на аэрокосмоснимках. Размеры и конфигурация этой зоны варьируют, что объясняется как природными, так и антропогенными факторами. В целом, за последние десятилетия зона развития водной растительности значительно расширилась, в то время как на прилегающем к ней участке суши усиливаются процессы заболачивания [23]. Все это приводит к образованию поверх развитых здесь мелкозернистых песков алевро-пелитового наилка мощностью до 5–10 мм, богатого органическим веществом.

Резкие изменения характера поверхностных осадков были отмечены после 2006 г. По данным опробования 1987–1992 и 2000–2004 гг., дно прибрежных мелководий

северной береговой зоны Невской губы было сложено, в основном, песчаными осадками. По данным бурения, мощность слоя песчаных и алевро-песчаных осадков достигала 2–2,5 м. Работы 2007 г. показали, что на 28 станциях из 35 поверхность дна покрыта тонкозернистыми осадками (илы, обводненные глины). В центральной и западной части полигона тонкие осадки полностью формировали поверхностный слой до 5 см мощностью, в восточной части — слой наилка мощностью до 3–5 мм на поверхности песков. Экспедиционные исследования 2008 г. зафиксировали расширение зоны развития описываемых осадков (рис. 10). В меньших масштабах (наилки мощностью доли мм) процессы отложения тонкодисперсного материала на поверхности дна зафиксированы и к западу от КЗС, в субаквальной части как северной, так и южной береговой зоны залива.

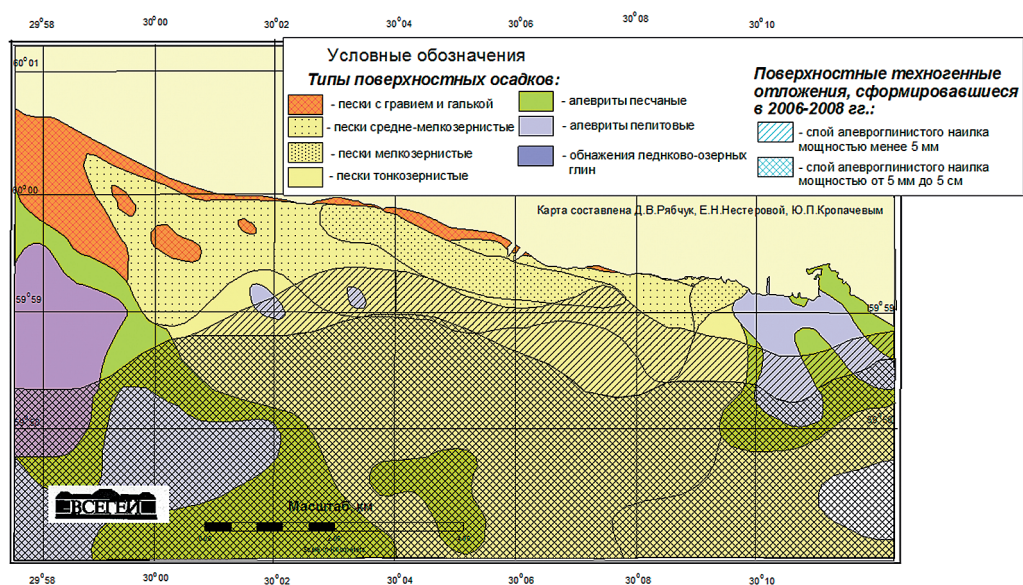


Рис. 10. Литологическая карта поверхности дна субаквальной части северной береговой зоны Невской губы

Таким образом, можно констатировать наличие четкой тенденции к изменению седиментационной обстановки в Невской губе в сторону постепенного замещения естественных песчаных и алевро-песчаных образований алевро-глинистыми осадками. Постепенные изменения седиментационной обстановки отмечаются на протяжении нескольких столетий, в последние годы скорость процесса резко возросла.

Обсуждение полученных результатов — причины изменения седиментационной обстановки

В восточной части Невской губы донные осадки формируются, в основном, под воздействием стокового течения Невы. Масса влекомых наносов р. Невы составляет

65 тыс. т в год, а взвешенных достигает 510 тыс. т в год [12]. При этом большинство исследователей [11, 4, 27] сходятся на том, что значительная масса наносов р. Невы накапливается непосредственно в пределах Невской губы. Снижением скорости потока определяется латеральное распределение поверхностных осадков — с востока на запад здесь образуются песчаные (мелко- и тонкозернистые пески) и алевро-песчаные (алевритовые пески, песчаные алевриты, алевриты) осадки аллювиально-морского происхождения. Следует отметить, что в Невской губе значительно более широко развиты (по сравнению с районами к западу от КЗС) осадки с высоким содержанием алевритовых частиц (0,05–0,005 мм). Это объясняется составом взвеси р. Невы, в которой на крупноалевритовую фракцию приходится 83 % [15].

Как упоминалось выше, алевро-пелитовые осадки развиты в пределах Невской губы на глубинах, подвергающихся воздействию волнения. Естественными предпосылками развития зоны современной алевро-пелитовой аккумуляции в Невской губе является характер рельефа дна с уменьшением глубины моря к северу и югу от о-ва Котлин, что создает своеобразную «седиментационную ловушку», а также поступление тонкодисперсного материала с твердым стоком р. Невы и в результате размыва озерно-ледниковых отложений суши и поверхности дна.

В то же время с момента основания Санкт-Петербурга техногенные процессы начали оказывать определенное влияние на седиментацию в Губе. Так, возведение рязевых преград усилило контрастность рельефа в западной части Невской губы [11], строительство фортов и фарватеров приводило к взмучиванию и переотложению тонкодисперсного материала. Наибольшую интенсивность техногенные процессы приобрели во второй половине XX в.

Как показали многолетние исследования специалистов НИИКАМ [28, 2], гидро-технические работы по выемке грунта и намыву городских территорий и периодические дноуглубительные работы в районах Лахты и Южной Лахтинской отмели стали основными источниками поступления в губу тонкодисперсного материала в конце 80-х — начале 90-х гг. Применявшаяся технология грунтозаборных и дноуглубительных работ создавала условия, при которых более 30 % добываемого из подводных карьеров грунта в виде тонкодисперсной пелитовой взвеси поступало в Невскую губу и восточную часть Финского залива. Максимальные концентрации взвешенных веществ в прилегающих к намыву зонах акватории достигали 200 мг/л, т.е. более чем на порядок превосходили фоновые концентрации взвеси в исследуемом районе и наблюдались на протяжении всего навигационного периода. Описанная картина хорошо видна на широко известных снимках Невской губы, сделанных в 1989–1992 гг.

Накоплению тонких осадков способствовала также засыпка грунта при постройке КЗС. Сделанные выводы хорошо согласуются с данными других источников. По результатам детального гранулометрического и минералогического анализа 22-х образцов донных осадков Невской Губы [13] были выявлены значительные изменения в распределении гранулометрических типов осадочных образований, произошедшие в результате намывных и насыпных работ на КЗС. Отмечено отчетливое возрастание в этих осадках пелитового материала, повышение контрастности в распределении тяжелых минералов, что свидетельствует об уменьшении в Невской губе подвижности придонных вод.

Произошедшие изменения нашли отражение на литологических и лито-фациальных картах Невской губы и отдельных ее участков, составленных специалистами ВСЕГЕИ при обобщении данных по состоянию на 1993 г. [5]. В 1990 г. работы по намыву новых территорий сократились, а в 1993 г. — полностью прекратились [14]. По данным специалистов НИИКАМ [28, 2], это резко повлияло на характер распределения взвеси. К 1998 г. значительно уменьшилась концентрация взвеси в поверхностных водах и сократилась суммарная площадь распространения взвешенного материала. По сравнению с 1980 г. концентрация взвеси сократилась в 3–4 раза. Тем не менее в целом, уже к началу XXI в. техногенные процессы существенно изменили седиментационную обстановку в Невской губе. В ходе работ ВСЕГЕИ 2004–2005 гг. [27] были выявлены и закартированы многочисленные техногенные объекты и формы рельефа (фарватеры, карьеры, подводные свалки грунта, отвалы, возникшие при строительстве фортов и т.д.). В западной части губы сформировалась значительная по площади зона накопления алевро-пелитовых илов, по периферии которой выделяется зона ненакопления (транзита), представленная трехкомпонентными алевро-глинисто-песчаными осадками. Сформировались техногенные фации донных осадков, среди которых могут быть выделены:

- фация судоходных путей, включающая в себя искусственные каналы и фарватеры, на дне которых формируется тонкий слой алевро-пелитовых илов, обогащенных различными видами загрязнителей;
- фация портовых акваторий, к которой относятся искусственно углубленные участки морского дна в пределах портовых акваторий, где также накапливаются интенсивно загрязненные алевро-пелитовые илы;
- фация подводных карьеров, возникших при выемке грунта в юго-восточной части губы и в районе Лахты;
- фации склонов инженерно-технических сооружений, представленные валунно-галечными отложениями, сформировавшимися за счет частичного разрушения дамб и стенок Морского канала, а также искусственных набросок.

Новые резкие изменения седиментационные процессы претерпели с началом строительства пассажирского порта в 2006 г. содержание взвеси в воде резко возросло. Интенсивность техногенного воздействия, обусловившая высокую нагрузку на акваторию, в данном случае связана с одновременным осуществлением работ по намыву новых территорий, дноуглублению в пределах фарватеров и дампингу в районах Южной и Северной Лахты. По данным Балтийской дирекции по техническому обеспечению надзора на море [8], в отвалы Северной и Южной Лахты за период 2005–2008 гг. было сброшено 21,391451 млн м³ грунта, изъятая при реконструкции фарватеров вблизи восточных берегов Невской губы и при реализации первой очереди проекта «Морской фасад» (пассажирский порт Санкт-Петербурга). Динамика сброса грунта выглядит следующим образом:

- 2005 г. — 1,233195 млн м³;
- 2006 г. — 12,199286 млн м³;
- 2007 г. — 7,533176 млн м³;
- 2008 г. — 0,425794 млн м³ [8].

Сброс грунта производился с помощью пульпопроводов, оборудованных специальными рассеивателями для равномерного распределения сбросов по площади. Это более экономичный способ, чем перевозка шаландами, но менее приемлемый с точки зрения экологии именно для данного района, который является транзитной зоной эстуария Невы. Взмученные легкие фракции глинистого грунта распространялись со шлейфами мутных вод далеко от зоны сброса, благодаря чему зона рассеивания на порядки превысила площадь отвалов. Кроме того, в изначально мелководных отвалах Северной и Южной Лахты появились зоны переполнения (уменьшения глубин менее проектной отметки), которые представляют собой опасность для судоходства [8, 30].

Сразу после начала работ концентрация взвеси в воде Невской губы резко возросла. Анализ ряда космических снимков восточной части Финского залива, полученных с ИСЗ Terra/MODIS и Aqua/MODIS в летний период 2006–2008 гг., позволяет заключить, что масштабы загрязнения акватории взвесью (соответственно, и другими видами сопутствующих им загрязнений) очень велики (рис. 11). Объемы работ и интенсивность загрязнения превосходят отмечавшиеся ранее вследствие проведения работ по намыву городских территорий (в 1970-е — 1980-е гг.).



Рис. 11. Распределение взвешенных веществ в Невской губе и в восточной части Финского залива, по данным Aqua/MODIS за 5 ноября 2007 г. В Невской губе продолжаются гидротехнические работы по осуществлению проекта «Морской фасад», а в районе южного створа дамбы, со стороны залива, ведутся работы по завершению строительства КЗС

Работы ВСЕГЕИ 2007 г. в северной береговой зоне Невской губы показали, что на поверхности дна формируется слой «техногенных» глинистых осадков. Изучение распределения в поверхностном слое осадков (0–2 см) радионуклидов показало, что в нем практически отсутствует ^{137}Cs , что абсолютно не характерно для современных

алевро-пелитовых илов Невской губы. Полученные данные подтверждают предположение о том, что слой поверхностных алевро-глинистых осадков сформирован переотложенными ледниково-озерными глинистыми отложениями и является результатом активных гидротехнических работ, причем скорость «техногенной» седиментации является чрезвычайно высокой. В меньших масштабах процессы отложения тонкодисперсного материала на поверхности дна зафиксированы и к западу от КЗС, в субаквальной части как северной, так и южной береговой зоны залива.

Техногенные глинистые осадки в ряде случаев залегают на поверхности дна в зонах современного воздействия волнения и придонных течений и в дальнейшем могут стать источником вторичного загрязнения акватории.

Следует учесть возможные изменения в гидродинамике в связи с началом функционирования пассажирского порта на Васильевском острове, который планирует принимать крупные круизные суда. По данным эстонских специалистов, после открытия регулярной линии паромного сообщения Таллинн — Хельсинки, высокоскоростные паромы индуцируют в Таллиннской бухте волны высотой около 1 м с периодом 10 с, что сравнимо по воздействию на дно и берега с наиболее сильными штормами. В настоящий момент так называемые «судовые волны» создают от 18 до 35 % волнового воздействия на берег. Воздействие «судовых волн» на дно проявляется, прежде всего, во взмучивании осадка [31].

Выводы

1. История регулярных исследований рельефа и донных осадков Невской губы насчитывает почти три столетия. Анализ имеющихся архивных и картографических материалов играет важную роль в понимании тенденций изменения седиментационных процессов.
2. Анализ материалов геологической съемки и эколого-геологических работ, а также архивных и картографических материалов показал, что слой илов, лежащих на литориновых песках, является чрезвычайно молодым. Ранее (в позднем голоцене) условий для накопления алевро-пелитовых осадков в Невской губе не существовало. На протяжении последнего столетия зона современной алевро-пелитовой аккумуляции постоянно расширяется.
3. Изменение седиментационной обстановки в Невской губе обусловлено как природными (характер рельефа дна, с уменьшением глубины моря к северу и югу от о-ва Котлин, что создает своеобразную «седиментационную ловушку»; изменение стока р. Невы), так и техногенными (строительство фортов, ряжевых преград, гидротехническое строительство).
4. В настоящее время интенсивный техногенез стал доминирующим лито- и морфодинамическим фактором в Невской губе. На значительной площади дна сформировался покров глинистых техногенных осадков. При дальнейших работах необходимо проведение моделирования гидро-, морфо- и литодинамических процессов с учетом измененного в результате техногенеза рельефа дна, структуры осадочного покрова, а также возможных изменений гидродинамических процессов в связи с началом функционирования пассажирского порта.

Авторы благодарны сотрудникам отдела Региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ, принимавшим в разные периоды времени участие в полевых исследованиях, А.Г. Григорьеву, С.Ф. Мануйлову, А.Г. Шурыгину, капитану и экипажу НИС «Риск», а также работникам Государственного Архива ВМФ за помощь в поиске архивных материалов.

Литература

1. *Бутылин В.П., Шурыгин А.Г.* Современный седименто- и морфогенез в восточной части Финского залива. Осадочный покров гляциального шельфа северо-западных морей СССР. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1992, с. 118–123.
2. *Бычкова И.А., Викторов С.В., Сухачева Л.Л.* Аэрокосмический мониторинг водных ресурсов Санкт-Петербурга и Ленинградской области. // Разведка и охрана недр, 1998, № 7–8, с. 42–44.
3. *Бычкова И.А., Викторов С.В., Кильдюшевский Л.Л., Сухачева Л.Л.* Синергетический подход к использованию аэрокосмической информации для изучения прибрежных зон. // Отечественная геология, 1999, № 6, с.40–46.
4. Геология Финского залива. Под ред. А. Раукаса и Х. Хюваринена. — Таллинн: изд-во АН Эстонии, 1992. — 422 с.
5. Геоэкологический атлас восточной части Финского залива. РАН, ВСЕГЕИ, МПР РФ. Под ред. В.М. Питулько и М.А. Спиридонова. — СПб., 2002. — 50 с.
6. *Дерюгин К.М.* Исследования реки Невы и ее бассейна, № 63, вып. 2. Гидрологические и гидробиологические исследования Невской губы. — Петроград: изд-во Российского гидрологического института, 1923.
7. *Дерюгин К.М.* Исследования реки Невы и ее бассейна, № 103, вып. 2. Гидрологические и гидробиологические исследования Невской губы. — Л.: изд-во Российского Гидрологического института, 1925.
8. *Зайцев В. М., Клеванный К. А., Лукьянов С. В., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Шилин М.Б.* Оценка экологического состояния подводных отвалов грунта в Невской губе. // Инженерные изыскания, 2010, № 5, с.36–42.
9. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1: 200000. — М.: Роскомнедра, 1995. — 244 с.
10. *Краюшкина Л.С., Максимович Н.В.* Кафедре Ихтиологии и гидробиологии 80 лет. // Вестник Санкт-Петербургского университета, 2009, сер. 3, вып. 3, с. 3–10.
11. *Логвиненко Н.В., Барков Л.К., Усенков С.М.* Литология и литодинамика современных осадков восточной части Финского залива. — Л., Изд-во ЛГУ, 1988. — 148 с.
12. *Нежиховский Р.А.* Вопросы гидрологии р. Невы и Невской губы. — Л.: Гидрометиздат, 1988. — 108 с.
13. *Окнова Н.С., Лопатина С.К., Верзилин Н.Н., Гонтарев Е.А.* К вопросу изменения донных осадков Невской губы в связи со строительством дамбы. // Вестник ЛГУ. Геология, география, 1990, вып. 3, с. 12–20.
14. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге. Администрация Санкт-Петербургского управления охраны окружающей среды. — СПб., 2000. — 515 с.
15. *Пустельников О.С.* Взвешенное вещество бассейна Балтийского моря. Речная взвесь и ее роль в общем балансе осадочного материала. // Труды АН Лит.ССР, 1976, серия Б, т. 96, № 5, с.139–146.
16. РГА ВМФ, 402-1-248. Дело № 9. О съемках Балтийского моря в 1829 г., 1829.
17. РГА ВМФ, 913-1-79. Журнал плаваний палубного бота № 4, гальета «Рак» и гальета «Штурман» по Балтийскому морю для гидрографических и гидрологических работ, 1751.
18. РГА ВМФ, 1331-4-281. Карта части Финского залива от Санкт-Петербурга до о-ва Гогланда, 1750.
19. РГА ВМФ, 1331-4-302. Карта Глубин от устья Невы до Кронштадта, 1768.
20. РГА ВМФ, 1331-4-333. Карта невиской губы, 1805.
21. РГА ВМФ, 1331-7-532. Карта Невской губы, 1911.
22. РГА ВМФ, 1331-11-514. Карта Невской губы, 1860.
23. *Рябченко В., Шилин М., Еремина Т.* 8-й научный конгресс по Балтийскому морю. // Ученые записки РГМУ, 2011, № 20, с. 226–227.

24. *Спиридонов М.А., Суслов Г.А.* Геоэкология (экологическая геология) береговой зоны восточной части Финского залива. // Экологическая геология и рациональное природопользование. — СПб., 2000, с. 132–136.
25. *Спиридонов М.А., Григорьев А.Г., Шахвердов В.А. и др.* Важнейшие геоэкологические особенности системы река Нева — Невская губа — Финский залив. // Геология Северо-запада вчера и сегодня. — СПб., 2002, с. 189–193.
26. *Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Кропачев Ю.П., Суслов Г.А., Нестерова Е.Н., Ликсуценков С.М.* Создание современной фактографической карты донных осадков и техногенных объектов на поверхности дна Невской губы (район, ограниченный Комплексом защитных сооружений, до условной линии Ломоносов — м. Лисий Нос). // Известия ВСЕГЕИ, 2004, т. 4(52), с. 120–123.
27. *Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Шахвердов В.А., Звездун С.И., Нестерова Е.Н., Суслов Г.А., Григорьев А.Г.* Невская губа. Эколого-геологический очерк. — СПб.: изд-во «Литера», 2004. — 181 с.
28. *Сухачева Л.Л.* Исследование разномасштабной пространственно-временной изменчивости распределения полей взвеси в восточной части Финского залива по данным многолетних аэрокосмических наблюдений. // Исследование Земли из космоса, 1996, № 5, с. 85–93.
29. *Шилин М.Б., Еремина Т.Р., Мамаева М.А.* Дреджинг наводит мосты. В кн.: Экологические аспекты дреджинга. — СПб.: изд. РГГМУ, 2013, с. 427–435.
30. *Shilin M., Lukjanov S., Zhakova L., Mamaeva M., Lednova J.* Assessing the status and trends of the coastal ecosystems in the dredging material deposit areas. // 8 th Baltic Sea Science Congress. — SPb, 2011. — 221 p.
31. *Torsvik T., Soomere T.* Simulation of patterns of waves from high-speed ferries in Tallinn Bay. // Estonian Journal of Engineering, September 2008, vol. 14, no. 3, pp. 232–254.
32. *Vallius H., Ryabchuk D., Kotilainen A., Spiridonov M., Suslov G., Zhamoida V.* Pollution history of the Neva Bay since the foundation of the city of St. Petersburg (1703 AD). // The Baltic Sea geology: The Ninth Marine Geological Conference. Extended abstracts. University of Latvia, Riga, 2006, pp. 115–116.