

Л. М. БУДАНОВ, А. Ю. СЕРГЕЕВ, Д. В. РЯБЧУК,  
В. А. ЖАМОЙДА, В. И. ХОРИКОВ (ВСЕГЕИ)

## Геоэкологическое районирование дна восточной части Финского залива

В статье рассматриваются результаты пространственного геоэкологического районирования дна восточной части Финского залива по предложенной авторами методике. Районирование выполнено на основе анализа комплекса геолого-геофизических данных, полученных специалистами отдела региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ при проведении государственной геологической съемки шельфа масштаба 1 : 200 000 (1987–2000 гг.), а также многолетних тематических работ (2001–2018 гг.) в восточной части Финского залива.

*Ключевые слова:* геологическая среда, сейсмоакустическое профилирование, геологические опасности, Балтийское море.

L. M. BUDANOV, A. YU. SERGEEV, D. V. RYABCHUK,  
V. A. ZHAMOIDA, V. I. KHORIKOV (VSEGEI)

## Geoenvironmental zoning of the eastern Gulf of Finland bottom

Paper presents results of spatial geoenvironmental mapping of the eastern Gulf of Finland bottom, based on geological and geophysical data received in the course of state geological survey undertaken by specialists of VSEGEI Department of Marine and Environmental geology (scale 1:200,000) (1987–2000) and various projects realized in 2001–2018 in the eastern Gulf of Finland.

*Keywords:* geological environment, sub-bottom profiling, geological hazards, Baltic Sea.

*Как цитировать эту статью:* Буданов Л. М. Геоэкологическое районирование дна восточной части Финского залива / Л. М. Буданов, А. Ю. Сергеев, Д. В. Рябчук, В. А. Жамойда, В. И. Хориков // Региональная геология и металлогения. — 2019. — № 79. — С. 23–34.

**Введение.** В последние десятилетия наблюдается активное освоение дна и береговых зон Финского залива в связи с формированием насыпных территорий, прокладкой подводных коммуникаций, гидротехническим строительством, обустройством рекреационных зон и созданием берегозащитных сооружений. Расширяется зона техногенного воздействия на дно восточной части Финского залива — в Невской губе в постоянном режиме ведутся работы по дноуглублению, перемещению грунтов и созданию их подводных отвалов, обсуждается ряд проектов искусственных островов в акватории залива, на побережьях реализуются проекты высотного строительства. В 2006–2008 гг. в восточной части Невской губы был реализован крупнейший инфраструктурный проект «Морской фасад» по созданию новых территорий и пассажирского порта. В западных районах российской части залива в 2010–2011 гг. построен участок газопровода «Северный поток», в настоящее время выполнены изыскания и начинается строительство южной ветки газопровода из Нарвского залива, реализованы проекты крупных портовых комплексов «Усть-Луга» и «Бронка». В связи с этим наблюдается интенсивное изменение ландшафтов морского дна, а также загрязнение донных отложений вследствие

поступления в акваторию залива большого объема поллютантов.

Инженерно-экологические изыскания, как необходимый этап реализации проектов, сталкиваются с серьезными сложностями при изучении приповерхностного геологического разреза, особенно на прибрежном мелководье. Проблемой является недостаточный объем бурения, что не всегда позволяет однозначно интерпретировать разрез и делать соответствующие геоэкологические выводы. В этих условиях разработка методики и критериев выделения сейсмоакустических комплексов по геофизическим данным, соответствующих отложениям с различными инженерно-геологическими свойствами, представляет собой важную и актуальную задачу.

Традиционно основная направленность геоэкологических исследований и мониторинга, выполняющихся различными организациями, — оценка загрязнений водной толщи (Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Российский государственный гидрометеорологический университет) [10] и донных отложений (Севморгео, ВСЕГЕИ), а также состояния экосистемы (Зоологический институт РАН, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической

безопасности РАН) [17, 19, 24]. Следует отметить, что с 2015 г. эколого-геохимические исследования донных отложений выведены из состава работ по мониторингу экологического состояния геологической среды прибрежно-шельфовой зоны, выполняемого под эгидой Роснедра, и ряды данных были прерваны.

При всем многообразии проводимых исследований до настоящего времени отсутствует системный подход к геоэкологической оценке и районированию восточной части Финского залива, основанный на пространственной характеристике геологической среды. Исключительное разнообразие и интенсивность хозяйственной деятельности диктуют необходимость внедрения системы морского пространственного планирования (МПП) [12], в основе которого должно лежать геоэкологическое районирование, что позволит еще на этапе принятия решений о реализации проектов выбирать оптимальные как с экономической, так и экологической точек зрения варианты их реализации.

Обзор истории развития подходов к геоэкологическому и эколого-геологическому картированию дна акваторий приводится в работах В. А. Шахвердова [22, 23], который приходит к выводу, что различными авторами под этими картами понимаются совершенно разные по своей сути документы, отличающиеся целевым назначением, масштабом, набором показателей и признаков, полнотой охвата картируемых компонентов геологической среды и достоверностью. Схожее мнение высказано и в работе [21] о том, что вследствие отсутствия унифицированных подходов к геоэкологическому картированию дна морских акваторий большинство специалистов, работающих в данной сфере, применяют авторские.

Отчасти комплексный подход к оценке эколого-геологических условий акватории был реализован в Атласе геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря [1].

В рамках создания госгеолкарты (ГК) м-бов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 составляются схемы: эколого-геологические (м-б 1 : 2 500 000 и 1 : 500 000 соответственно) и оценки степени эколого-геологической опасности (м-б 1 : 5 000 000 и 1 : 1 000 000), отображающие экспертный анализ экологической обстановки на картируемой площади в зависимости от эндо- и экзодинамических процессов, возможности катастроф, степени геохимического и радиоактивного загрязнения и техногенного воздействия на геологическую среду. Задачей схем является выделение площадей наибольшего эколого-геологического риска для жизни и хозяйственной деятельности человека. Эколого-геологическая обстановка оценивается по пяти градациям — от благоприятной до катастрофической [15]. Следует отметить, что детально разработанные критерии применимы преимущественно к картированию суши, а эколого-геологические схемы акваторий

в различных комплексах ГК-1000 существенно различаются своими легендами.

По результатам проведенного анализа за основу применяемой в настоящей работе геоэкологической оценки и районирования акватории восточной части Финского залива приняты категории сложности инженерно-геологических условий на шельфе из свода правил (СП) 11-114-2004 с модификациями, обусловленными геоэкологическими и физико-географическими особенностями исследуемого бассейна.

**Материалы и методы.** В основу районирования положены геолого-геофизические данные, полученные специалистами отдела региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ в 1980–2018 гг. при проведении государственной геологической съемки шельфа м-ба 1 : 200 000 и различных тематических работ (2001–2018 гг.) в акватории восточной части Финского залива, в ходе которых было выполнено более 8000 км геофизического профилирования и более 6000 станций донного пробоотбора. Комплексный анализ современной геофизической информации с применением новых методов обработки значительных массивов цифровых данных обеспечил построение модели верхней части геологического разреза дна и береговой зоны восточной части Финского залива. Геоэкологическое картографирование выполнено с применением ГИС-технологий.

**Результаты и их обсуждение.** Для создания интегральной схемы геоэкологического районирования были использованы следующие критерии, отражающие основные элементы геологической среды дна акватории и береговой зоны: геоморфологические условия, геологическое строение и тектоника, экзогенные геологические процессы, экологическое состояние, газонасыщенность грунтов, техногенное воздействие. По аналогии с существующим СП 11-114-2004, предложено ранжирование оценки опасности (благоприятности) экологического состояния геологической среды: безопасные, потенциально опасные и опасные (таблица).

**Геоморфологические условия.** Для оценки геоморфологических условий восточной части Финского залива принято решение учитывать наличие уклонов в рельефе морского дна, то есть его вертикальную расчлененность.

Первым шагом стало создание актуальной цифровой модели рельефа дна (ЦМРД) с использованием всех имеющихся источников данных (оцифровка морских навигационных карт м-бов 1 : 200 000–1 : 50 000, архивных геофизических профилей, выполненных в ходе работ ВСЕГЕИ 1984–2018 гг.) (рис. 1, А).

С использованием инструментов геообработки ЦМРД составлены схемы батиметрического индекса позиции, вертикального расчленения рельефа, направленности уклонов поверхности дна (рис. 1, Б, В, Г). Для ранжирования по геоморфологическому критерию проведена

## Критерии оценки экологического состояния геологической среды

Критерий	Безопасные	Потенциально опасные	Опасные
Геоморфологические условия	Равнинные участки дна, рельеф нерасчлененный	Наклонные участки дна с плавным изменением глубинных отметок, рельеф слаборасчлененный	Участки дна с резкими изменениями глубинных отметок (гряды, банки и т. д.), поверхность сильно расчленена
Геологическое строение и тектоника	Выходы на поверхность дна (или близко к ней) морен, мощность послеледниковых отложений меньше 10 м, отложения современных илов отсутствуют	Мощность послеледниковых отложений больше 10 м, отложения современных илов отсутствуют	Мощность послеледниковых отложений больше 10 м, разрез завершается слоем современных илов мощностью более 0,5 м; зона разрывных нарушений; зона развития погребенных врезов
Экзогенные геологические процессы	Экзогенные геологические процессы проявлены слабо вне зоны волнового поля, скорости придонных течений недостаточны для размыва поверхностных отложений	Экзогенные геологические процессы имеют ограниченное развитие; слабое воздействие на дно волнения и течений	Активные экзогенные геологические процессы (гравитационные процессы и т. д.); интенсивное воздействие на дно волнения и течений
Экологическая обстановка	Алевропелитовые илы как депонирующая среда поллютантов отсутствуют	Алевропелитовые илы загрязненные	Алевропелитовые илы загрязненные
Газонасыщенность грунтов	Газонасыщенные илы отсутствуют	Отдельные локальные поля газонасыщенных илов	Зоны сплошных газонасыщенных илов
Техногенное воздействие	Практически отсутствует	Незначительное техногенное воздействие	Значительное техногенное воздействие (существенные изменения геологической среды)

интеграция геопространственных данных о морфологии дна. С применением инструмента ГИС «Алгебра карт» были объединены данные об углах наклонов и расчлененности рельефа. Выделены следующие классы: 1) дно относительно ровное, слабонаклонное, сформированное подводными субгоризонтальными аккумулятивными равнинами или террасами; 2) дно с выдержанным уклоном, представляющее собой поверхность морского дна на переходе от берега к седиментационным бассейнам или между террасами разных уровней; 3) расчлененное дно, как правило образованное моренными грядами и локальными банками, резко выступающими над окружающей поверхностью дна.

*Геологическое строение и тектоника.* В СП 11-114-2004 предлагается производить оценку геологических условий по наличию определенного числа геологических слоев в первых тридцати метрах геологического разреза. В геологические критерии вошли данные об особенностях приповерхностного геологического строения, определяющего условия освоения геологической среды, основанные на интерпретации материалов сейсмоакустического профилирования, данные о наличии погребенных долин и положении разрывных нарушений.

Для построения интегральной схемы геологических условий выполнена интерпретация

сейсмоакустических данных в контексте поставленной задачи. На архивных и вновь полученных записях высокочастотного профилографа в ходе обработки и интерпретации акустических временных разрезов выделено три основных акустических комплекса (АК) и ряд аномальных объектов естественного происхождения. Описанные ниже интерпретационные признаки были сформулированы в ходе анализа значительного объема акустических разрезов.

В основании информативной части разреза фиксируется поверхность акустического фундамента, характеризующаяся высокой интенсивностью отраженного сигнала (рис. 2). Ниже этой поверхности происходит полное затухание сейсмического сигнала. По данным интерпретации сейсмических записей и результатам опробования донных отложений, на подавляющей части акватории акустический фундамент (АК1) представлен валунными суглинками – ледниковыми отложениями (моренами). В редких случаях акустическим фундаментом служат коренные дочетвертичные породы или песчаные отложения водно-ледникового генезиса. Поверхность морены и дочетвертичных образований, как правило, характеризуется сложно расчлененным грядовым рельефом. Поверхность кровли песчаных водно-ледниковых отложений обычно выровнена.

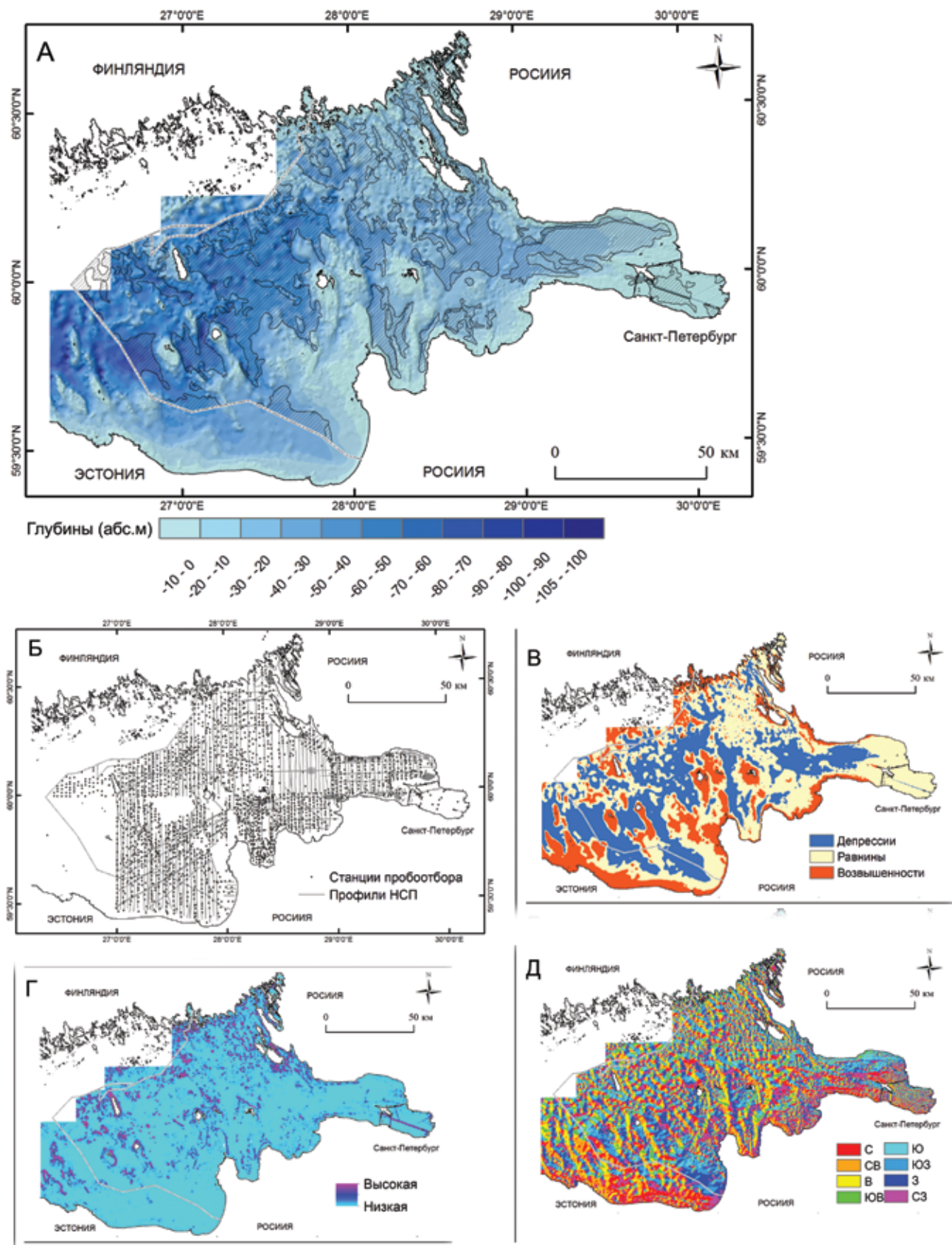


Рис. 1. Модель и схемы восточной части Финского залива

А – ЦМРД (штриховкой показаны площади развития локальных седиментационных бассейнов с накоплением современных алевропелитовых осадков); схемы: Б – геолого-геофизической изученности, В – батиметрического индекса позиции, Г – вертикального расчленения рельефа, Д – направленности уклонов поверхности дна

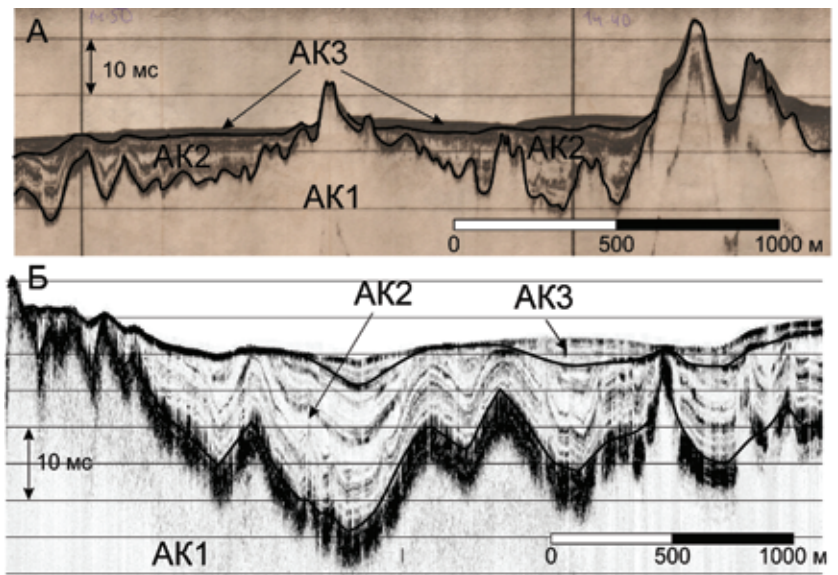
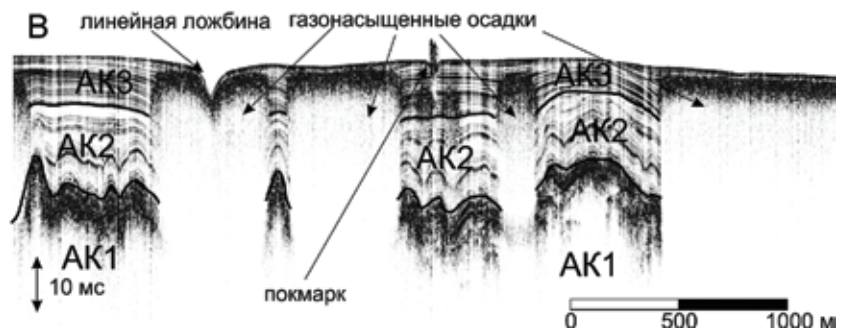


Рис. 2. Примеры интерпретации акустических разрезов с изображением характерных для восточной части Финского залива АК

А – запись, отсканированная с бумажного носителя, профилограф – ГЛ-7.5, 1987 г. (ВСЕГЕИ); Б – цифровая запись, профилограф – ГЛ-7.5, 2001 г. (ВСЕГЕИ); В – цифровая запись, профилограф – EdgeTech 3300 NM, 2017 г. (АО ИО РАН)



Морена и дочетвертичные породы пригодны для возведения инженерных сооружений. Дочетвертичные породы в северной части залива в пределах Балтийского кристаллического щита представлены гранитами, гранитогнейсами и кристаллическими сланцами архей-протерозойского возраста. Их выходы на поверхность дна были зафиксированы на акустических записях в Выборгском заливе. Данные породы характеризуются высокой прочностью и устойчивостью. На юге изучаемой площади коренные породы выражены полускальными терригенными сцементированными плотными и малодеформируемыми породами венда [2]. К достаточно плотным и прочным грунтам относятся и четвертичные отложения, слагающие акустический фундамент: песчаные – Балтийского ледникового озера и приледниковых озер, флювиогляциальные – ошашковского горизонта, а также валунные песчано-глинистые, в составе которых преобладают супеси валунные, иногда переслаивающиеся с суглинками – ледниковые ошашковского горизонта [11]. По данным ГСШ-200, эти отложения обладают следующими физико-механическими свойствами:  $W_{\text{ест}}$  – 25–51 %, плотность часто около 2 г/см<sup>3</sup>, удельный вес от 2,72–2,75 г/см<sup>3</sup>, сцепление превышает 5 кПа.

Как правило, над АК1 выделяется толща, для которой характерно наличие серии протяженных

отражающих горизонтов, маркирующих границы внутренних слоев, в значительной мере повторяющих геометрию подстилающей границы (облекающая форма залегания). Интенсивность отражений изменяется по разрезу, не постоянно расстояние между слоями, что может свидетельствовать о незначительных изменениях по латерали условий осадконакопления. По данным геологического опробования, комплекс представлен существенно глинистыми ледниково-озерными отложениями позднего неоплейстоцена, от слоистых ленточных глин в основании разреза АК2 до тонкополосчатых и почти монотонных в верхней части разреза (рис. 2).

Иногда в пределах АК2 наблюдаются акустически прозрачные участки, нивелирующие (заполняющие) неровности нижележащего рельефа. Мощность комплекса выдержана и составляет в среднем 10 м. Согласно результатам инженерно-геологических исследований, выполняемых в рамках мониторинга геологической среды прибрежно-шельфовой зоны, глины АК2 имеют текучую консистенцию (IL от 2,28 до 3,80). Влажность некоторых образцов незначительно превышает 100 %, но в целом колеблется в интервале 60–100 %. Сопротивление вращательному срезу у рассматриваемых глин достигает значений в 5,9 кПа, что не является высоким показателем, однако ощутимо выше, чем

сопротивление срезу у илов вышележащего АКЗ. Плотность достигает  $1,6 \text{ г/см}^3$ . С инженерно-геологической точки зрения для отложений комплекса характерны следующие особенности: 1) специфические условия залегания (облекающие); 2) слоистость, часто тонкая у глинистых разностей, обуславливающая анизотропию инженерно-геологических свойств; 3) неоднородное в разрезе физическое состояние по плотности, пористости, влажности и консистенции. Они сильно и неоднородно сжимаемы, при уплотнении обнаруживают значительные остаточные деформации. При промерзании сильно пучатся. Отложения комплекса относятся к инженерно-геологическому типу грунтов, не пригодному для возведения инженерных сооружений, со строительной точки зрения они являются слабыми породами [11].

Выше по разрезу выделяется третий комплекс отложений (АКЗ). Для него характерно наличие серии субгоризонтальных отражающих горизонтов различной интенсивности (рис. 2). По данным геологического опробования, комплекс представлен алевропелитовыми илами голоценового возраста. Наличие серии границ (до 5) в пределах комплекса связано с изменениями условий седиментации, а самые интенсивные отражающие горизонты маркируют значительные изменения уровня моря в голоцене. Отложения комплекса завершают геологический разрез и, заполняя относительные понижения в рельефе кровли нижележащих комплексов, формируют современные седиментационные бассейны.

По результатам инженерно-геологических испытаний илов восточной части Финского залива, влажность поверхностного слоя этих отложений колеблется в пределах от 120 до 670 %, коэффициент водонасыщенности  $0,95-1,00$ , плотность  $1,10-1,30 \text{ г/см}^3$ , коэффициент пористости  $3-16$ , сопротивление срезу  $0,1-0,8$ , показатель консистенции  $I_L 2,3-14,6$ . Сопротивление вращательному срезу  $4-3,6 \text{ кПа}$ . Прочность илов предельно мала, поэтому разделение общего сопротивления их сдвигу на трение и сцепление нецелесообразно. Сопротивление сдвигу илов зависит не от нормального давления, а в основном от скорости развития деформаций. Угол естественного откоса стремится к нулю. При приложении к илам даже малых усилий они быстро переходят в текучее состояние. При этом пластическая прочность измеряется единицами паскалей.

Под действием вертикальных нагрузок деформации илов характеризуются свободным уплотнением, сопровождающимся выжиманием свободной воды, а при сравнительно быстром приложении таких нагрузок гидродинамическое давление, создающееся в них, вызывает их выпор из-под нагрузки. Коэффициент сжимаемости илов измеряется  $0,2-0,3 \text{ МПа}$ , а модуль общей деформации глинистых разностей равен  $0,1-0,5 \text{ МПа}$  (в суглинистых и супесчаных изменяется от  $1,0$  до  $2,0-2,5 \text{ МПа}$ ) [11].

Илы, как правило, — отложения недоуплотненные и чувствительные к изменениям естественного сложения, после механического нарушения которого они способны восстанавливать свое состояние и прочность структурных связей, т. е. обладают способностью к тиксотропным превращениям, к чему располагает возникновение и развитие явлений синерезиса (сближение частиц под влиянием поверхностных сил с частичным вытеснением воды).

Приведенная характеристика илов указывает на то, что это слабые образования, обладающие характерными, резко выраженными специфическими свойствами, что позволяет отнести их к инженерно-геологическому типу грунтов, не пригодных для возведения инженерных сооружений.

На локальных участках исследуемой акватории в АКЗ по характерным особенностям акустической записи выделяются поля газонасыщенных осадков и покмарки, которые будут рассмотрены ниже при обсуждении критерия газонасыщенности осадков.

Акустические границы между комплексами характеризуются резкими несогласиями, обусловленными историей геологического развития региона в позднем неоплейстоцене — голоцене. Подошва отложений комплекса АК2 выделяется по протяженной отражающей границе, интенсивность которой не постоянна. Как правило, эта граница идет параллельно с внутренними слоями, но на некоторых участках пересекает их, что свидетельствует о размыве отложений комплекса. Это подтверждается и фактическими геологическими данными. Верхняя граница АК2 четко фиксируется сейсмограммами по несогласному залеганию, а также на значительной площади дна залива по наличию эрозийного песчаного (песчано-алевритового) горизонта, сформировавшегося в результате резкого падения уровня Балтийского ледникового озера после его прорыва в океан ( $11,7-11,5 \text{ кал. л. н.}$ ) и длительного регрессивного периода существования палеоводоёма. Наличие четких границ комплексов позволило выделить и оцифровать поверхности позднеоплейстоценовых ледниковых отложений и кровли вышележащих водно-ледниковых, рассчитать мощность голоценовых алевропелитовых илов и построить соответствующие модели (рис. 3).

Таким образом, анализ сейсмоакустических данных показал, что в геологическом строении верхней части разреза восточной части Финского залива практически повсеместно (за исключением локальных выходов на поверхность дочетвертичных отложений) выделяются три и более акустических комплексов. По такому числу слоев геологической среды практически всю площадь акватории Финского залива следовало бы отнести к третьей (наивысшей) категории сложности, согласно СП 11-114-2004. Однако, учитывая инженерно-геологические свойства ледниковых отложений [2, 11], позволяющие

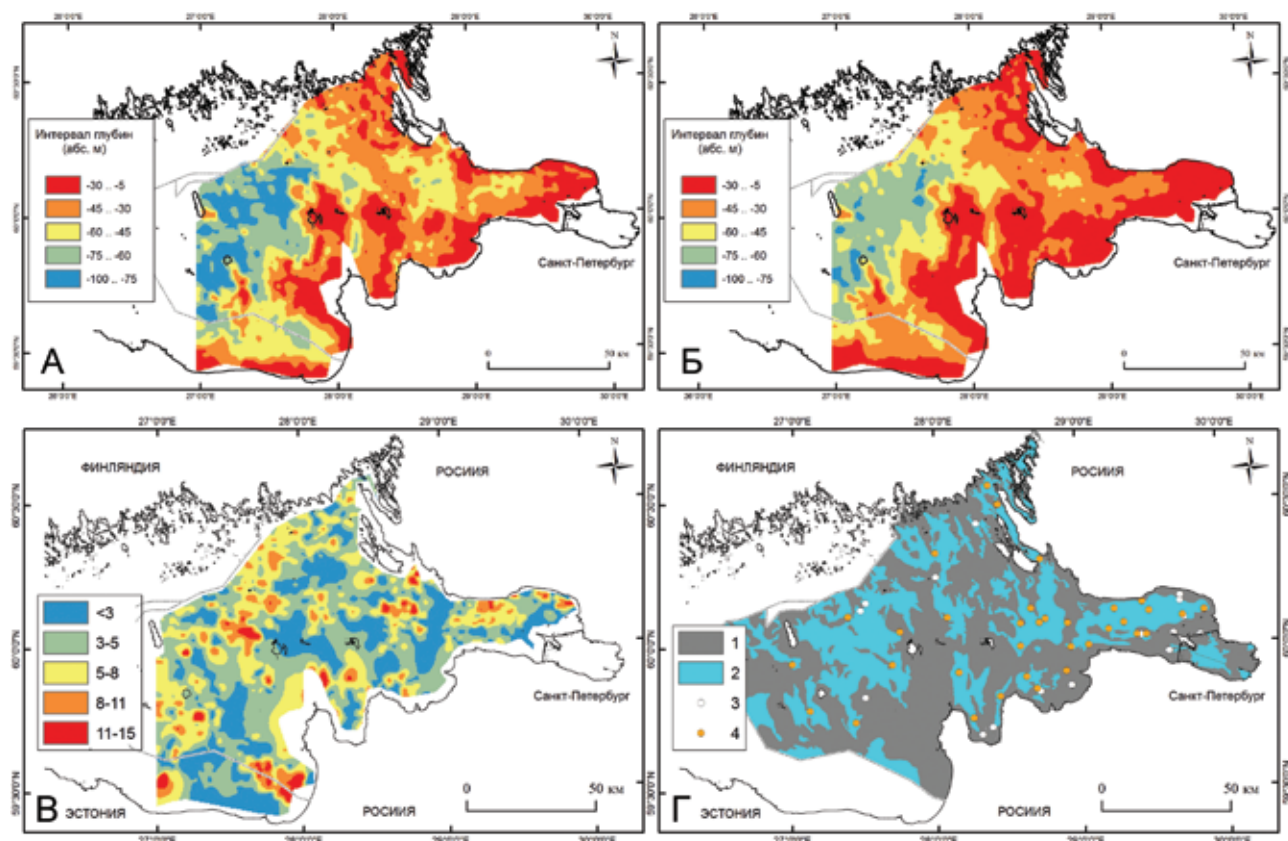


Рис. 3. Схемы частично погребенного рельефа: неоплейстоценового ледникового (А) и неоплейстоценового водно-ледникового (Б), построенного по данным интерпретации НСП; схема мощности голоценовых илов, построенная по данным интерпретации высокочастотного НСП (цветовая шкала, метры) (В); схема оценки уровня загрязненности алевропелитовых илов восточной части Финского залива (Г)

1 – зоны подводного размыва/ненакопления; 2 – зоны развития алевропелитовых илов седиментационных бассейнов; 3, 4 – станции мониторинга Севморгео 2005–2015 гг. с превышением ОДК по комплексу загрязняющих компонентов, отмечаемых эпизодически (3) и постоянно (4) [5–9]

считать их устойчивым основанием, целесообразно оценивать мощность и дифференцированность послеледниковых отложений, при этом особое внимание следует уделять наличию илов в геологическом разрезе, представляющих собой слабые грунты.

Опасные эндогенные геологические процессы, связанные с глубинными преобразованиями горных пород и структурными изменениями различного происхождения, в условиях Финского залива и его береговых зон в целом находятся на низком уровне. Тем не менее в пределах дна залива выделены разрывные нарушения [1], положение которых учитывалось при составлении схемы.

Под экзогенными геологическими процессами подразумеваются широко развитые в регионе донный размыв, оползание склонов, ледовая абразия, заносимость. Также сюда были отнесены особенности: придонной литодинамики, обусловленные в береговой зоне гидродинамическим воздействием на дно штормовых волн и индуцированных ими течений, а в глубоководных частях акватории – придонных течений, выраженные в наличии областей бассейновой седиментации и транзита, или ненакопления, современных донных осадков. Для создания карты интенсивности

волнового воздействия на дно акватории использованы результаты математического моделирования [13, 26].

Основным критерием оценки экологического состояния геологической среды в данной работе является рассчитанная по геофизическим данным площадь поверхности и мощность (объем) алевропелитовых илов седиментационных бассейнов, представляющих собой депонирующую среду для всех видов загрязнителей (рис. 3). Общая площадь распространения алевропелитовых илов составляет 4,3 тыс. км<sup>2</sup>, объем оценивается в 62 млрд м<sup>3</sup>. Как показало сравнение полученных данных с результатами геохимических и геоэкологических исследований и мониторинга, выполнявшихся Севморгео [5–9], на всех станциях мониторинга, расположенных в пределах выделенных седиментационных бассейнов, не менее чем за пятилетний период фиксировались превышения ОДК (ориентировочно допустимые концентрации) [16] как минимум по пяти загрязняющим компонентам (Cd, As, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Cs-137, нефтепродукты). Таким образом, алевропелитовые илы седиментационных бассейнов представляют собой потенциальные источники вторичного загрязнения под воздействием как природных

(периодическое расширение бескислородных зон) [14, 25], так и техногенных (дреджинг) [20] процессов.

*Газонасыщенность* (преимущественно метан) — характерная черта морских голоценовых алевропелитовых отложений всех седиментационных бассейнов восточной части Финского залива (за исключением Невской губы). Согласно существующим представлениям, наиболее вероятно биогенное происхождение газа. В то же время ряд авторов не исключает вклада в их формирование эндогенных компонентов [3, 4, 18]. Высокая концентрация газа в осадке приводит к разуплотнению отложений и дальнейшему снижению плотностных свойств.

*Геоэкологическое районирование.* Результатом геоинформационной обработки данных о геологических, геоморфологических, литодинамических, экологических и других условиях акватории восточной части Финского залива явилось ранжирование данных по каждому из критериев с использованием балльной системы: благоприятные условия соответствуют 1 баллу; потенциально опасные — 2 баллам; опасные — 3 баллам.

Для геоморфологического критерия, наиболее значимого с точки зрения прокладки подводных коммуникаций, трубопроводов, кабелей и т. д., были выбраны данные об относительных углах склонов и вертикальной расчлененности рельефа. Результатом экспертной оценки опасности (неблагоприятности) геоморфологических условий является интегральная схема, показанная на рис. 4.

В геологический критерий, наиболее значимый с точки зрения строительства (в том числе, формирования намывных и насыпных территорий с последующей застройкой, строительства ветропарков с подводным основанием, крупных гидротехнических сооружений, высотных зданий в береговой зоне, примыкающей к палеодолинам и др.), вошли данные об особенностях приповерхностного геологического строения, определяющего условия освоения геологической среды, основанные на интерпретации материалов сейсмоакустического профилирования, наличии погребенных долин и положении разрывных нарушений (рис. 4).

В схему **экзогенных геологических процессов** были включены следующие параметры: области устойчивой седиментации; глубина акватории; открытость акватории волнам, определяющая активный слой дна, подверженный волновой переработки. Результат экспертной оценки опасности (неблагоприятности) оценки проявления экзогенных геологических процессов — интегральная схема, показанная на рис. 4. Полученная схема имеет наибольшее значение с точки зрения планирования и реализации берегозащитных мероприятий.

Для областей развития газонасыщенных илов средствами ГИС была построена схема плотности распределения линейных депрессий, выявленных на сейсмоакустических профилях.

Для градации данных выделены три класса: газонасыщенные илы отсутствуют; средней плотности скопления депрессий (менее одного на квадратный километр) в газонасыщенных илах и высокой плотности скопления депрессий (более одного на квадратный километр) в газонасыщенных илах.

В процессе создания интегральной геоэкологической схемы дна восточной части Финского залива с применением ГИС-технологий было установлено, что рассмотрение критерия техногенной нагрузки по методике, аналогичной анализу природных факторов, методически некорректно. Зоны хозяйственной деятельности значительно различаются по характеру воздействия на геологическую среду (фарватеры на глубинах менее 15 м, где постоянно ведется дноуглубление, и судовые ходы на остальной части акватории, где воздействие на окружающую среду не очевидно; зоны с четко установленным характером, глубиной и площадью техногенного воздействия (подводные отвалы грунта, карьеры по добыче полезных ископаемых и т. д.) и зоны, где интенсивность воздействия неизвестна (закрытые районы ВМФ и т. д.). Поэтому слой техногенной нагрузки был включен в интегральную схему геоэкологического районирования в качестве наложенного.

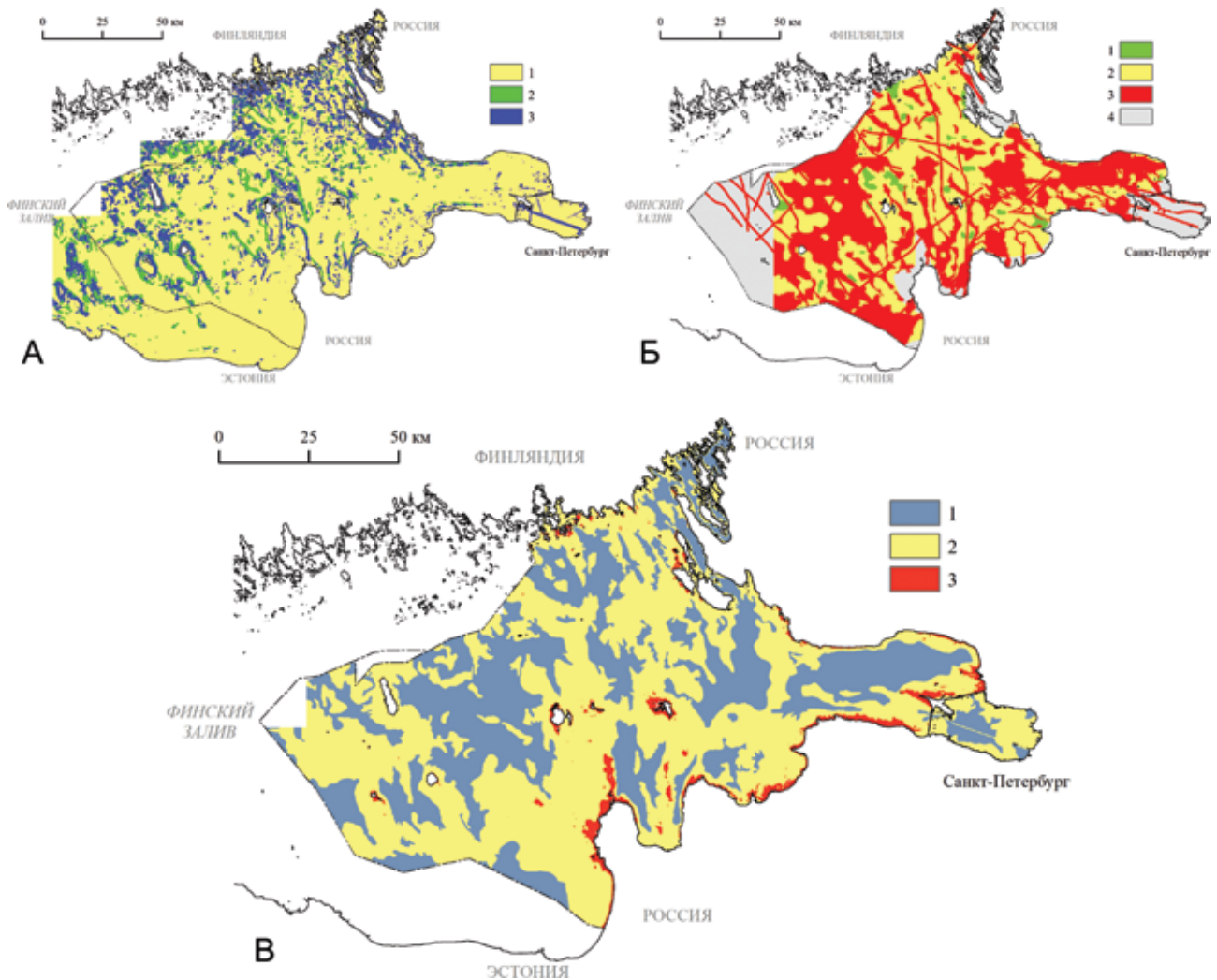
Интегральная схема геоэкологического районирования дна основана на суммировании баллов по всем выделенным ранее критериям, отражающим геоэкологические условия и степень опасности освоения акватории восточной части Финского залива (рис. 5).

Анализ полученной схемы показывает, что геоэкологические условия большей части площади дна (57 %) изучаемой акватории могут быть классифицированы как безопасные. Эти зоны наиболее благоприятны для хозяйственной деятельности. К категории потенциально опасных относится 32 % площади дна (бассейны седиментации с концентрацией алевропелитовых илов, являющихся средой накопления загрязнения). В естественных условиях продолжающейся устойчивой седиментации эти зоны не представляют значительной опасности, в то же время при техногенном воздействии может возникнуть кратковременное (прокладка подводных коммуникаций, газопроводов, добыча песков, песчано-гравийных смесей и железомарганцевых конкреций) либо долговременное (дноуглубление, дампинг) негативное воздействие на окружающую среду. Также к потенциально опасным зонам относятся области интенсивного волнового размыва дна в пределах прибрежных мелководий и подводных поднятий.

Зоны, опасные для хозяйственной деятельности, занимают 11 % площади акватории и пространственно приурочены к зонам развития газонасыщенных осадков и крутым склонам подводных поднятий.

Наряду с интегральной схемой при планировании различных видов хозяйственной деятельности





**Рис. 4.** Интегральные схемы дна восточной части Финского залива

**А** – геоморфологических условий: 1 – благоприятные (равнинные участки дна, рельеф нерасчлененный); 2 – потенциально опасные (наклонные участки дна с плавным изменением глубинных отметок, рельеф слаборасчлененный); 3 – опасные (участки дна с резкими изменениями глубинных отметок (гряды, банки и т. д.), поверхность сильно расчленена);

**Б** – геологических условий приповерхностного разреза: 1 – благоприятные (выходы на поверхность (или близко к ней) морены, мощность послеледниковых отложений меньше 10 м, отложения современных илов отсутствуют); 2 – потенциально опасные (мощность послеледниковых отложений больше 10 м, отложения современных илов отсутствуют); 3 – опасные (мощность послеледниковых отложений больше 10 м, разрез завершается слоем современных илов мощностью более 0,5 м; зона разрывных нарушений; зона развития погребенных врезов); 4 – данные отсутствуют;

**В** – экзогенных геологических процессов: 1 – благоприятные (экзогенные геологические процессы проявлены слабо вне зоны волнового поля, скорости придонных течений недостаточны для размыва поверхностных отложений); 2 – потенциально опасные (экзогенные геологические процессы имеют ограниченное развитие, слабое воздействие на дно волнения и течений); 3 – опасные (активные экзогенные геологические процессы, интенсивное воздействие на дно волнения и течений)

целесообразно использовать отдельные специализированные схемы, составленные для отдельных критериев, или их комбинации. Так, например, при строительстве гидротехнических сооружений, ветропарков, платформ и т. д. наиболее значимые критерии оценки как безопасности и эффективности проекта, так и воздействия на окружающую среду – геологический и геоморфологический. При планировании деятельности, связанной с дноуглублением, на первый план выходит экологический критерий.

**Выводы.** Разработанные критерии оценки геоэкологического состояния восточной части Финского залива позволяют произвести адекватную оценку степени опасности хозяйственного освоения конкретных участков акватории.

В акустических временных разрезах, полученных в восточной части Финского залива, выделяются три акустических комплекса, отложения которых обладают различными геотехническими свойствами. Породы и отложения АК1 характеризуются низкой пористостью и влажностью,

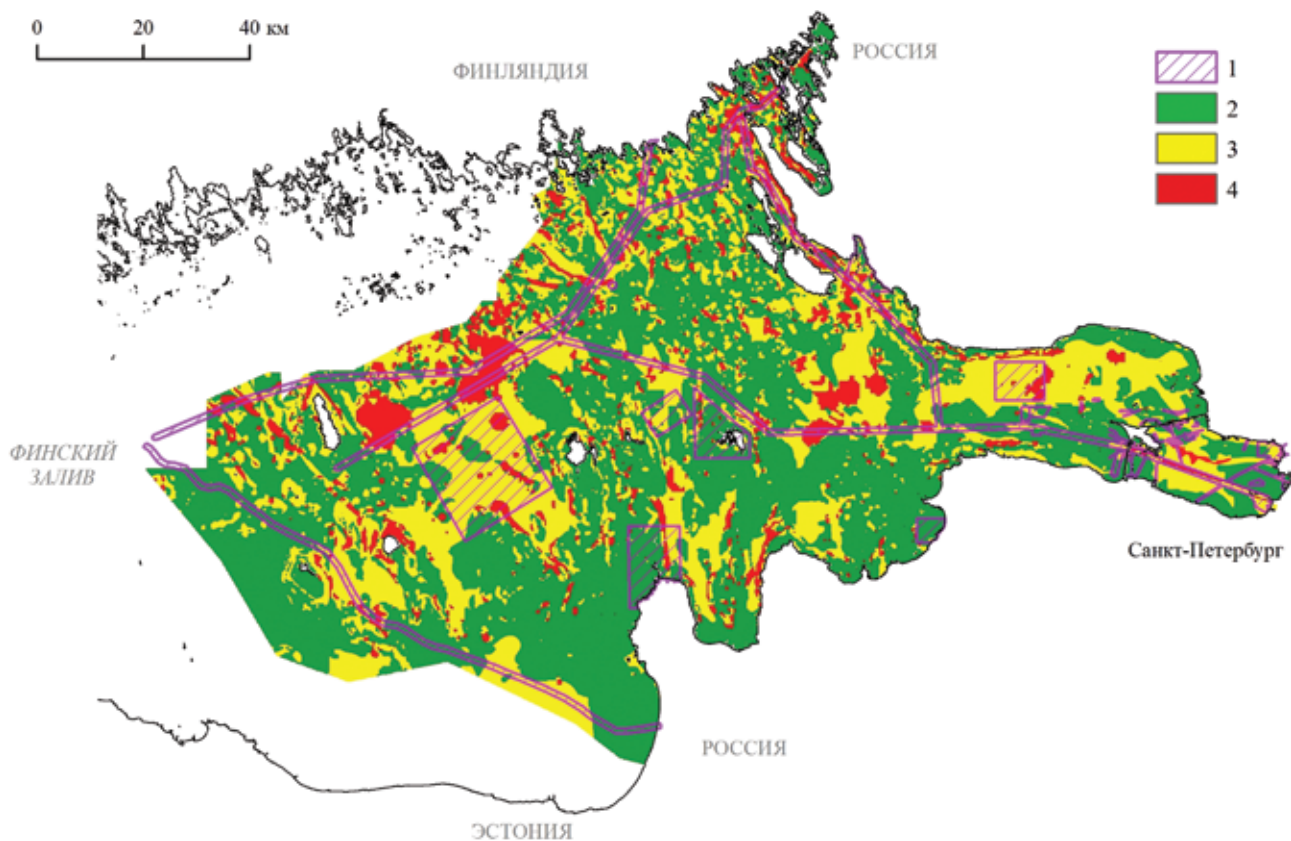


Рис. 5. Интегральная схема геоэкологического районирования дна восточной части Финского залива

1 — площади законодательно ограниченной хозяйственной деятельности; 2–4 — интегральная оценка геоэкологического состояния в баллах: 2 — 6–8 (безопасное), 3 — > 8–9 (потенциально опасное), 4 — > 9–13 (опасное)

высокой плотностью и устойчивостью и являются грунтами, пригодными для строительства. Отложения АК2, выраженные ледниково-озерными глинами, характеризующимися сравнительно высокой влажностью, пористостью и пониженной плотностью, — непригодны для строительства. АК3 представлен полужидкими алевропелитовыми илами, которые описываются минимальными в разрезе прочностными характеристиками, зачастую газонасыщены и являются депонирующей средой для всех видов загрязнителей.

В результате ГИС-анализа оцифрованных с геофизических разрезов данных получены картосхемы рельефа дочетвертичных образований, ледниковых отложений, верхнеплейстоценовых отложений, современного рельефа дна, рассчитаны мощности голоценовых отложений (иллов) для акватории восточной части Финского залива.

Разработан подход к геоэкологическому районированию акваторий, опирающийся на ряд критериев, отражающих морфологические особенности донной поверхности, геологическое строение, экологические характеристики среды. Использование интегральной балльной системы и ГИС-технологий позволяет строить схемы районирования в зависимости от наиболее важных условий при планировании различных видов хозяйственной деятельности.

Геоэкологические условия наибольшей площади дна (57 %) изучаемой акватории могут быть классифицированы как безопасные. К категории потенциально опасных относится 32 % площади дна. Зоны, опасные для хозяйственной деятельности, занимают 11 % площади акватории и пространственно приурочены к зонам развития газонасыщенных осадков и крутым склонам подводных поднятий.

1. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / гл. ред. О. В. Петров. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. — 78 с.

2. Дашко Р. Э. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга / Р. Э. Дашко [и др.] // Развитие городов и геотехническое строительство. — 2011. — № 1. — С. 1–47.

3. Жамойда В. А. Геолого-геоморфологические условия формирования пок-маков в восточной части Финского залива / В. А. Жамойда, Д. В. Рябчук, М. А. Спиридонов, А. Г. Григорьев, Н. В. Пименов, А. В. Амантов, Ю. П. Кропачев, И. А. Неевин // Региональная геология и металлогения. — 2013. — № 54. — С. 25–37.

4. Иванова В. В., Кириевская Д. В., Болотов А. Е. Геохимическая характеристика донных отложений в зоне покмарков в восточной части Финского залива // Балтийский регион. — 2011. — № 1 (7). — С. 78–89.

5. Информационный бюллетень № 11. Состояние геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Барен-

цева, Белого и Балтийского морей / ред. О. Ю. Корнеева. — СПб.: Севморгео, 2009. — 58 с.

6. Информационный бюллетень № 9. Состояние геологической среды континентального шельфа Балтийского, Белого и Баренцева морей. — СПб.: Севморгео. — 2007. — 57 с.

7. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2011 г. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. — 80 с.

8. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2012 г. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. — 112 с.

9. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. — 136 с.

10. Ипатова С. В. Качество морских вод и донных отложений восточной части Финского залива по данным мониторинга ФГБУ «Северо-Западное УГМС» [Электронный ресурс] // Специализированное обеспечение информацией о состоянии и загрязнении окружающей среды в больших городах: Материалы Всерос. совещ. (Ярославль, 8 сентября 2017 г.). — Ярославль, 2017. — Режим доступа: <http://oceanography.ru/index.php/component/jdownloads/finish/41/1682> (дата обращения: 14.02.2018).

11. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. 2 изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1984. — 511 с.

12. Лаппо А. Д., Миленина Э. А. Эколого-ориентированный подход к территориальному и морскому пространственному планированию // Региональная экология. — 2014. — № 1–2 (35). — С. 134–140.

13. Леонтьев И. О. Бюджет наносов и прогноз развития берега // Океанология. — 2008. — Т. 48, № 3. — С. 467–476.

14. Максимов А. А. Причины возникновения придонной гипоксии в восточной части Финского залива Балтийского моря // Океанология. — 2006. — Т. 46, № 2. — С. 204–210.

15. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третьего поколения): Версия 1.3. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. — 169 с.

16. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив. — СПб.: ОАО «Ленморниипроект», 1996, 11 с.

17. Орлова М. И. Мониторинг чужеродных видов Невской губы и восточной части Финского залива // Окружающая среда Санкт-Петербурга. — 2017. — № 3 (5). — С. 45–55.

18. Пименов Н. В. Сульфатредукция, образование и окисление метана в голоценовых осадках Выборгского залива Балтийского моря / Н. В. Пименов, Т. А. Канапачкий, П. А. Сигалевич, И. И. Русанов, Е. Ф. Веслополова, А. Г. Григорьев, В. А. Жамойда // Микробиология. — 2012. — Т. 81, № 1. — С. 84–95.

19. Поляк Ю. М. Мониторинг Финского залива Балтийского моря: Влияние антропогенных факторов на биохимические процессы в прибрежной зоне / Ю. М. Поляк, Ю. И. Губелит, Т. Д. Шигаева, Л. Г. Бакина, В. А. Кудрявцева, Г. Дембска, Г. Пазиковска-Сапота // ПЭММЭ. — 2018. — Т. 29, № 2. — С. 99–117.

20. Сухачева Л. Л. Экологические и другие аспекты дреджинга при реализации крупных инженерных проектов в восточной части Финского залива: Обзорные данные многолетних аэрокосмических наблюдений // Ученые записки РГГМУ. — 2014. — № 35. — С. 124–132.

21. Холмянский М. А. Современное состояние и прогноз развития морских геологических исследований / М. А. Холмянский, Е. М. Снопина, М. В. Владимиров

[и др.] // Ученые записки РГГМУ. — 2017. — № 48. — С. 216–233.

22. Шахвердов В. А. Новая карта эколого-геологического районирования восточной части Финского залива и его береговой зоны // Геология в школе и вузе: Геология и цивилизация: Материалы VI Междунар. конф. / под ред. Е. М. Нестеровой. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А. П. Герцена. — 2009. — Т. 1. — С. 344.

23. Шахвердов В. А. Основные факторы эколого-геологического районирования восточной части Финского залива и его береговой зоны // Геоэкологические проблемы современности: Доклады 3-й Междунар. конф. / отв. ред. И. А. Карлович. — Владимир: Изд-во ВГУ. — 2010. — С. 331–333.

24. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы / под ред. А. Ф. Алимона, С. М. Голубкова. — М.: Товарищество научных изданий КМК. — 2008. — 477 с.

25. Kotilainen A., Vallius H., Ryabchuk D. Seafloor anoxia and modern laminated sediments in coastal basins of the Gulf of Finland, Baltic Sea // Geological Survey of Finland, Special Paper. — 2007. — Vol. 45. — Pp. 47–60.

26. Wijkmark N., Isæus M., Enhus C. Wave exposure calculations for the Russian coasts in the Baltic Sea // AquaBiota Report. — 2013. — Vol. 11. — 21 p.

1. Atlas geologicheskikh i ekologo-geologicheskikh kart Rossijskogo sektora Baltijskogo morya [Atlas of geological and ecological-geological maps of the Russian sector of the Baltic Sea]. Chief editor O. V. Petrov. St. Petersburg: VSEGEI. 2010. 78 p.

2. Dashko R. E. Features of the engineering and geological conditions of St. Petersburg. *Razvitiye gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2011. No. 1, pp. 1–47. (In Russian).

3. Zhamoida V. A., Ryabchuk D. V., Spiridonov M. A., Grigor'ev A. G., Pimenov N. V., Amantov A. V., Kropachev Yu. P., Neevin I. A. Geological and geomorphological conditions for the formation of pok-poppies in the eastern part of the Gulf of Finland. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. 2013. No. 54, pp. 25–37. (In Russian).

4. Ivanova V. V., Kirievskaya D. V., Bolotov A. E. Geochemical characteristics of bottom sediments in the pokmark zone in the eastern part of the Gulf of Finland. *Baltiiskij region*. Kaliningrad. 2011. No. 1 (7), pp. 78–89. (In Russian).

5. Informacionnyj byulleten' No. 11: Sostoyanie geologicheskoy sredy pribrezhno-shel'fovoj zony Barenceva, Belogo i Baltijskogo morej [Newsletter N 11. The state of the geological environment of the coastal-shelf zone of the Barents, White and Baltic Seas]. St. Petersburg: Sevmorgeo. 2009. 34 p.

6. Informacionnyj byulleten' No. 9: Sostoyanie geologicheskoy sredy kontinental'nogo shel'fa Baltijskogo, Belogo i Barenceva morej [Newsletter No. 9. State of the geological environment of the continental shelf of the Baltic, White and Barents Seas]. St. Petersburg: Sevmorgeo. 2007. 55 p.

7. Informacionnyj byulleten' o sostoyanii geologicheskoy sredy pribrezhno-shel'fovyh zon Barenceva, Belogo i Baltijskogo morej v 2011 g. [Newsletter on the state of the geological environment of the coastal-shelf zones of the Barents, White and Baltic Seas in 2011]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2012. 80 p.

8. Informacionnyj byulleten' o sostoyanii geologicheskoy sredy pribrezhno-shel'fovyh zon Barenceva, Belogo i Baltijskogo morej v 2012 g. [Newsletter on the state of the geological environment of the coastal-shelf zones of the Barents, White and Baltic Seas in 2012]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2013. 112 p.

9. Informacionnyj byulleten' o sostoyanii geologicheskoy sredy pribrezhno-shel'fovyh zon Barenceva, Belogo i Baltijskogo morej v 2013 g. [A newsletter on the state of the geological environment of coastal-shelf zones of the Barents, White and Baltic Seas in 2013]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2014. 136 p.

10. Ipatova S. V. The quality of sea water and bottom sediments of the eastern part of the Gulf of Finland according to monitoring data of the FSBI North-West UGMS [Elektronnyj resurs]. *Specialized provision of information on the state and environmental pollution in large cities: Materials of the All-Russian Meeting (Yaroslavl, September 8, 2017)*. Yaroslavl. 2017. — URL: <http://oceanography.ru/index.php/component/jdownloads/finish/41/1682>. (14.02.2018). (In Russian).
11. Lomtadze V. D. *Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya petrologiya*. 2 izd., pererab. i dop. [Engineering geology. Engineering petrology. 2 ed., rev. and suppl.]. Leningrad: Nedra. 1984. 511 p.
12. Lappo A. D. Ecologically-oriented approach to territorial and marine spatial planning. *Regional'naya ekologiya*. 2014. No. 1–2 (35). Pp. 134–140. (In Russian).
13. Leont'ev I. O. The sediment budget and the forecast of coastal development. *Okeanologiya*. 2008. Vol. 48. Pp. 467–476. (In Russian).
14. Maksimov A. A. Reasons for the occurrence of bottom hypoxia in the eastern part of the Gulf of Finland of the Baltic Sea. *Okeanologiya*. 2006. Vol. 46. No. 2, pp. 204–210. (In Russian).
15. Metodicheskoe rukovodstvo po sostavleniyu i podgotovke k izdaniyu listov Gosudarstvennoj geologicheskoy karty Rossijskoj Federacii masshtaba 1 : 1 000 000 (tret'ego pokoleniya): Versiya 1.3 [Methodological guidance on the preparation and preparation for publication of sheets of the State Geological Map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000 (third generation): Version 1.3]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2017. 169 p.
16. Normy i kriterii ocenki zagryaznennosti donnyh otlozhenij v vodnyh ob'ektakh Sankt-Peterburga. Regional'nyj normative [Norms and criteria for assessing the pollution of bottom sediments in water bodies of St. Petersburg]. St. Petersburg. 1996. 11 p.
17. Orlova M. I. Monitoring of alien species of the Neva Bay and the eastern part of the Gulf of Finland. *Okruzhayushchaya sreda Sankt-Peterburga*. 2017. No. 3 (5), pp. 45–55. (In Russian).
18. Pimenov N. V., Kanapackij T. A., Sigalevich P. A., Rusanov I. I., Veslopolova E. F., Grigor'ev A. G., Zhamoïda V. A. Sulfate reduction, the formation and oxidation of methane in Holocene sediments of the Vyborg Bay of the Baltic Sea. *Mikrobiologiya*. 2012. Vol. 81. No. 1, pp. 84–95. (In Russian).
19. Polyak Yu. M. Monitoring of the Gulf of Finland of the Baltic Sea: Influence of anthropogenic factors on biochemical processes in the coastal zone. *PEMME*. 2018. No. 2. Vol. 29, pp. 99–116. (In Russian).
20. Suhacheva L. L. Ecological and other aspects of dredging during the implementation of large engineering projects in the eastern part of the Gulf of Finland: Generalization of data from long-term aerospace observations. *Uchenye zapiski RGGMU*. 2014. No. 35, pp. 124–132. (In Russian).
21. Holmyanskij M. A. Current status and forecast of development of marine geoecological researches. *Uchenye zapiski RGGMU*. 2017. No. 48, pp. 216–233. (In Russian).
22. Shahverdov V. A. A new map of ecological and geological zoning of the eastern part of the Gulf of Finland and its coastal zone. *Geology at school and university: Geology and civilization: Materials of the VI International Conference*. St. Petersburg. 2009. Vol. 1. Pp. 344. (In Russian).
23. Shahverdov V. A. The main factors of ecological and geological zoning of the eastern part of the Gulf of Finland and its coastal zone. *Geoecological problems of our time: Reports of the 3rd International Conference*. Vladimir. 2010. Pp. 331–333. (In Russian).
24. Ekosistema estuariya reki Nevy: biologicheskoe raznoobrazie i ekologicheskie problem [Ecosystem of the estuary of the Neva River: biological diversity and environmental problems]. Ed. by A. F. Alimova, S. M. Golubkova. Moscow: 2008. 477 p.
25. Kotilainen, A., Vallius, H., Ryabchuk, D. 2007: Seafloor anoxia and modern laminated sediments in coastal basins of the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Geological Survey of Finland, Special Paper*. 45. 47–60.
26. Wijkmark, N., Isæus, M., Enhus, C. 2013: Wave exposure calculations for the Russian coasts in the Baltic Sea. *AquaBiota Report*. 11. 21.

Буданов Леонид Михайлович – инженер, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Leonid\_Budanov@vsegei.ru>

Сергеев Александр Юрьевич – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Alexander\_Sergeev@vsegei.ru>

Рябчук Дарья Владимировна – канд. геол.-минерал. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Daria\_Ryabchuk@vsegei.ru>

Жамойда Владимир Александрович – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Vladimir\_Zhamoïda@vsegei.ru>

Хориков Виктор Игоревич – инженер, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <viktor\_khorikov@vsegei.ru>

Budanov Leonid Mikhailovich – Engineer, VSEGEI<sup>1</sup>. <Leonid\_Budanov@vsegei.ru>

Sergeev Alexander Yuryevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, VSEGEI<sup>1</sup>. <Alexander\_Sergeev@vsegei.ru>

Ryabchuk Daria Vladimirovna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Department Head, VSEGEI<sup>1</sup>. <Daria\_Ryabchuk@vsegei.ru>

Zhamoïda Vladimir Aleksandrovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI<sup>1</sup>. <Vladimir\_Zhamoïda@vsegei.ru>

Khorikov Viktor Igorevich – Engineer, VSEGEI<sup>1</sup>. <viktor\_khorikov@vsegei.ru>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.