

УДК 551:624

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВЫБОРА МЕСТА ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕХОДА «МАТЕРИК–САХАЛИН»

**Мелкий Вячеслав Анатольевич<sup>1</sup>,**  
vamelkiy@mail.ru

**Братков Виталий Викторович<sup>2</sup>,**  
vbratkov@mail.ru

**Верхотуров Алексей Александрович<sup>1</sup>,**  
ussr-91@mail.ru

<sup>1</sup> Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,  
Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 16.

<sup>2</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии,  
Россия, 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4.

*Геостратегическое положение России в Азиатско-Тихоокеанском регионе определяется уровнем экономического, социально-го, политического развития на территории Дальнего Востока. Перспективы его улучшения с учетом современных реалий и тенденций невозможно представить без развития транспортно-экономических связей между субъектами, в том числе о. Сахалин с материком. Рынок трансконтинентальных перевозок в рамках международных транспортных коридоров – огромный позитивный потенциал для развития регионов Дальнего Востока, Сибири и всей России. Принятие решения о развитии транспортной инфраструктуры окраин на уровне Правительства Российской Федерации продемонстрирует отношение государства к своей дальневосточной территории и обозначит его позиции в Азиатско-Тихоокеанском регионе.*

**Актуальность** исследования обусловлена необходимостью проработки проектных решений по выбору возможных вариантов организации устойчивого круглогодичного транспортного сообщения между материком и Сахалином для освоения ресурсного потенциала прилегающих территорий. Окончательный выбор места и типа сооружения, которое обеспечит бесперебойные перевозки железнодорожным и автомобильным транспортом через Татарский пролив, может быть произведен только после тщательного анализа преимуществ какого-либо из них в зависимости от природных условий.

**Цель:** проанализировать результаты геологических и геоморфологических исследований в проливе Невельского (самой узкой части Татарского пролива) для выбора места транспортного перехода.

**Материалы и методы исследования.** Информационной основой для исследования послужили картографические материалы, данные дистанционного зондирования Земли, сейсмические профили, иные данные, полученные в результате инженерных изысканий и научно-исследовательских работ, в которых принимали участие авторы, а также сведения из литературных источников. Картографирование в геоинформационной среде позволило обновить геологические карты, нанести новые данные о разломах, уточнить границы стратиграфических толщ. В геоморфологических исследованиях использовался системно-морфологический подход, который дает возможность оценки геоморфологического риска. Доступная информация использовалась при моделировании процессов в проливе с применением ГИС-технологий. Авторы выполняли геологические работы при исследовании створа «Новый» в 2001 г. Большая часть полученных сведений публикуется впервые.

В результате исследований геологического строения прибрежных территорий и дна пролива Невельского, проведенных во время изысканий для обоснования проекта мостового или тоннельного перехода с материка на о. Сахалин (в том числе и с участием авторов) выявлено, что рифтогенная структура пролива Невельского состоит из блоков земной коры, рассеченных глубинными разломами. Территория отнесена к зоне, где возможны сейсмические сотрясения в 7–8 баллов по шкале MSK-64. Отступление материкового берега сильно зависит от прочности пород. Интенсивность абразии мыса Невельского, установленная по данным космических съемок, не превышала 1 м за 100 лет, поэтому створы проектируемого сооружения на материковом берегу целесообразно начинать от береговых уступов (клифов), которые сложены лавами и пирокластическими отложениями базальтового и андезитового состава массивной текстуры (мысы Невельского, Екатерины, Муравьева и др.). На сахалинском берегу сооружение можно выводить на береговой уступ мыса Лах (он меньше всего подвержен размыву). Предварительные итоги изучения геологических условий показали, что строительство мостового перехода I класса сейсмостойкости через пролив возможно. Наиболее спокойным в сейсмическом отношении представляется створ «Новый» (м. Невельского – м. Лах). Полученные геоморфологические данные свидетельствуют о том, что в данном створе размыв береговых уступов минимальный и составляет первые сантиметры за год (в период наблюдений 1 см/год). Геолого-геоморфологические условия не окажут серьезных препятствий при сооружении объекта по линии между указанными мысами.

### **Ключевые слова:**

Геоинформационное картографирование, дистанционное зондирование Земли, блоки земной коры, инженерные изыскания, стратиграфия, геоморфология, тектоника, математическое моделирование, геодезическая привязка.

### **Введение**

В настоящее время на уровне Правительства России активно обсуждается вопрос о необходимости и целесообразности строительства транспортного перехода из материковой части страны на остров Сахалин.

Скептики считают, что в реализации данного проекта нет экономической целесообразности в силу малой заселенности территории севера Хабаровского края и острова. В качестве контраргументов приводится довод о лучшей транспортной связанности страны и

возможности роста экономических связей с Азиатско-Тихоокеанским регионом.

Второй пункт разногласий связан с местом прохода и видом мостового перехода. С экономической точки зрения желательнее, чтобы он проходил по кратчайшему маршруту, однако такое решение не всегда себя оправдывает. Поэтому мы остановимся на положительных и отрицательных аспектах возможных вариантов расположения перехода, которые будут способствовать выбору оптимального решения с позиции геолого-геофизической обоснованности.

#### **История проектов соединения острова с материком**

Вопрос о строительстве сооружений, которые связали бы Сахалин с большой землей, неоднократно обсуждался в нашей стране, начиная с XIX в. [1–3]. Позднее, в 1925 г., советский экономгеограф Н.Н. Колосовский представил доклад о задачах развития дальневосточных производственно-территориальных комплексов, в котором отмечал, что надежную связь Сахалина с континентальным побережьем можно обеспечить, построив железную дорогу на остров [4].

В марте 1950 г. на совещании у И.В. Сталина руководитель Сахалинского обкома партии Д.Н. Мельник обосновал необходимость организации сообщения между островом и материком. Предлагались различные варианты перехода: насыпные дамбы, большой мост через пролив и ледокольно-паромные перевозки [5]. Политбюро ЦК в начале апреля решило проложить железную дорогу Комсомольск-на-Амуре – Победино через Де-Кастри, Погиби, Ныш, пролив Невельского намечалось пройти тоннельным переходом, а также организовать резервное железнодорожное морское паромное сообщение [6]. Буквально через неделю были созданы два управления в системе МВД, начались изыскательские, проектные и строительные работы [7].

Государственный комитет Совмина СССР по делам строительства в ноябре 1952 г. в своем заключении рекомендовал Министерству путей сообщения доработать технический проект, составленный с учетом всей имеющейся информации, уточнить объем дополнительных затрат, необходимых для завершения строительства в 1955 г. Техническим проектом предусматривалось строительство тоннеля между мысами Средний и Погиби протяженностью 12,9 км на линии Комсомольск–Победино [8].

После смерти руководителя государства Л.П. Берия утвердил список 20 объектов строительства, в которых страна больше не нуждалась. Лагеря на трассе тут же опустели, техника была брошена, работы прекратилось.

В 1979 г. в очередной раз пытались вернуться к реализации проекта, дополнив в части организации сообщения Сахалина с Японией посредством перехода через пролив Лаперуза, в связи с проработкой вопроса о транспортировке углеводородного сырья с нефтяных и газовых месторождений сахалинского шельфа, которые начинали осваивать на основе соглашения о разделении продукции [9].

Федеральной целевой программой развития транспортной инфраструктуры страны в 2002–2010 гг. предусматривалось строительство железной дороги на остров [10]. Вновь был выполнен большой комплекс изыскательских и проектных работ, в которых принимало участие более 30 научных и проектно-изыскательских институтов различного ведомственного подчинения, в том числе и Сахалинский госуниверситет. При корректировке Программы пункт о прокладке магистрали на Сахалин исчез, решение вопроса об устойчивом сообщении острова с континентальной частью страны отложили на неопределенное время. Тем не менее требуется продолжение изучения вопросов, связанных с реализацией данного проекта, в связи с чем необходим анализ геолого-геоморфологической информации, обеспечивающей правильность выбора варианта перехода через пролив Невельского. Материалы хранятся в разных ведомствах и могут быть просто безвозвратно утрачены.

#### **Результаты выбора варианта перехода через пролив Невельского**

Для выбора оптимального варианта перехода необходимо проанализировать целый комплекс природных факторов, определяющих возможности строительства и эксплуатации сложного инженерного сооружения и служащих предпосылками к выбору конструктивных решений и местоположения. Для начала оценим геологические и геоморфологические условия в проливе, которые очень важны для выбора места перехода.

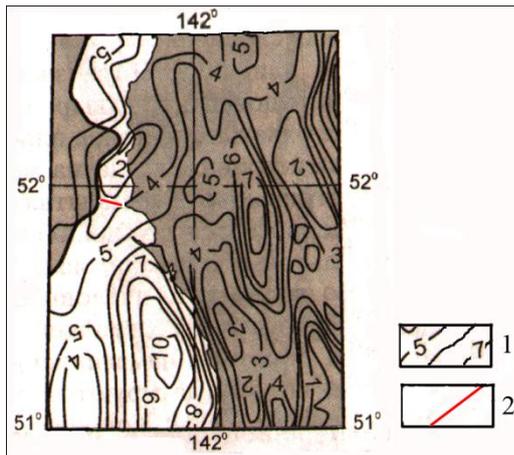
Первый фактор, влияющий на выбор створа для перехода, определяется строением земной коры и сейсмическими подвижками.

#### **Тектоника и рельеф фундамента в проливе**

Пролив Невельского расположен на границе между двумя блоками земной коры: крупными горстовыми сооружениями северной части Сихотэ-Алинской складчатой области с наложенным на складчатое основание вулканическим поясом и северной частью крупнейшего в регионе Западно-Сахалинского прогиба. Северо-Татарский асимметричный грабен занимает пространство между материковым берегом и подножием антиклинория Западно-Сахалинских гор [11].

В настоящее время методом обменных волн определена мощность земной коры в проливе: поверхность Мохорвичича установлена на глубине 29–30 км [12]. Отмечено также несовпадение структурных планов в нижних горизонтах коры и верхней мантии. Анализ геолого-геофизической информации по северной части Татарского пролива и прилегающей суши показывает, что акустический фундамент по линии фарватера находится на глубине около 2 км, на обоих его берегах – 4–5 км [13] (рис. 1).

Складчатый фундамент исследуемой территории разбит глубинными зонами деструкции и горизонтально ориентированными зонами дилатансии, образовавшимися вследствие процессов растяжения и сжатия, которые формируются в геодинамической обстановке, свойственной рифтогенным структурам, таким как Татарский прогиб [15–18].



**Рис. 1.** Схема мощности осадочного чехла в проливе Невельского [14]: 1 – изогипсы (в км); 2 – створ м. Невельского – м. Лакх

**Fig. 1.** Scheme of sedimentary cover power in the Nevel'sky Strait [14]: 1 are the isohypses (km); 2 is the leading line Nevel'sky Cape – Lakh Cape

Разрывные нарушения в районе пролива Невельского образовались под влиянием процессов перестройки тектонического плана в периоды повышенной тектонической активности региона: ламарийского (на границе палеогена и неогена (23–19 млн лет)) [19], алеутского (граница раннего и среднего миоцена (15–11 млн лет)) и сахалинского (при переходе от плиоцена к квартеру) [20].

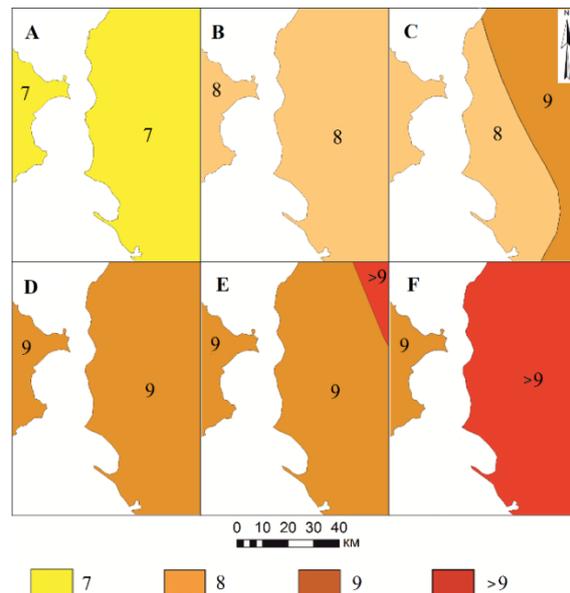
Ламарийский рифтогенез характеризовался опусканием блоков земной коры по глубинным разломам, что вызывало резкую активизацию движений в зоне Восточно-Сихотэ-Алинского структурного шва, с образованием новых оперяющих разрывных нарушений, глубоко вклинивающих в консолидированную структуру материка. Оживление тектонических движений вызвало приток по глубинным разломам большого объема магматических масс, впоследствии изверженных на поверхность.

К числу крупных оперяющих разрывов, направленных параллельно или под острым углом к современной береговой линии, ограничивающей материк, следует отнести сбросы или сбросо-сдвиги. Их амплитуда достигает нескольких сотен метров. В пределах Северного Сихотэ-Алиния преобладают оперяющие разрывы, между которыми заключены узкие, чаще опущенные, реже поднятые линейные блоки. Грабены в этой зоне обычно расширяются к северу. Это служит указанием на то, что основное направление сдвиговых деформаций, параллельных разломной границе материка, происходило с юга на север.

Геологические отложения материка довольно слабо затронуты пликативными дислокациями и еще более интенсивно – разрывными. Первые представляют собой пологие симметричные складки, сопряженные между собой по дугам большого радиуса и осложненные на крыльях крутопадающими сбросами. В ядрах антиклинальных перегибов выходов вулканических пород, древнее миоценовых, не установлено.

Специфическая черта разломов Северного Сахалина – вовлечение в воздымание смежных структур [21]. На западе острова взброс проявляется намного западнее линии меридионального Западно-Сахалинского регионального разлома и тяготеет к берегу пролива Невельского. С восточной стороны к оперению этого дизъюнктивного нарушения относят молодые локальные разрывы западного борта Лангры-Вагисской гряды [22].

Согласно схеме общего сейсмического районирования, на исследуемой территории возможны землетрясения с превышением максимальной интенсивности сейсмических сотрясений 1 раз в 50 лет: 7 баллов с вероятностью  $P=39\%$  (период повторяемости  $T=100$  лет); 8 баллов –  $P=10\%$  ( $T=500$  лет); превышающих 8 баллов –  $P=5\%$  ( $T=1000$ ); 9 баллов –  $P=2\%$  ( $T=2500$ ); свыше 9 баллов –  $P=1\%$  ( $T=5000$ ) и свыше 9 баллов – с  $P=0,5\%$  ( $T=10000$ ) (рис. 2) [23]. На исследованной территории имеются многочисленные разломы различной протяженности и глубины.



**Рис. 2.** Общее сейсмическое районирование территории пролива Невельского ОСР-2012. Максимальная интенсивность сейсмических сотрясений (I, баллы) с различной вероятностью возможного превышения в течение 50 лет и соответствующим периодом повторяемости: А)  $P=39\%$ ,  $T=100$  лет; В)  $P=10\%$ ,  $T=500$  лет; С)  $P=5\%$ ,  $T=1000$  лет; D)  $P=2\%$ ,  $T=2500$  лет; E)  $P=1\%$ ,  $T=5000$  лет; F)  $P=0,5\%$ ,  $T=10000$  лет. Составлено по данным ОСР-2012 [23]

**Fig. 2.** General seismic zoning of the Nevel'sky Strait OSR-2012. Maximum intensity of seismic shocks (I, points) with different probability of possible exceedance within 50 years and corresponding recurrence period: А)  $P=39\%$ ,  $T=100$  years; В)  $P=10\%$ ,  $T=500$  years; С)  $P=5\%$ ,  $T=1000$  years; D)  $P=2\%$ ,  $T=2500$  years; E)  $P=1\%$ ,  $T=5000$  years; F)  $P=0,5\%$ ,  $T=10000$  years. Compiled by OSR-2012 [23]

В соответствии с п. 4.9. свода правил проектирования транспортных сооружений в сейсмических

районах, строящийся объект должен соответствовать классу сейсмостойкости I с допустимым сейсмическим риском от 1 до 2,5 %. На исследуемой территории расчетная сейсмичность составляет 9 баллов (карты D и E), поэтому при проектировании объектов транспортного строительства следует разрабатывать проведение антисейсмических мероприятий [24].

#### Стратиграфическая характеристика

Второй фактор выбора места и типа перехода определяется стратиграфическим строением исследуемой территории [25–27] (рис. 3).

На акватории Татарского пролива с середины семидесятых годов до начала девяностых активно проводились поисково-разведочные работы на нефть и газ. В этот период отработано около 23 тыс. пог. км сейсмопрофилей и выполнено бурение поисковых и параметрических скважин общим метражом 33 тыс. м [27]. Материалы проведенных исследований позволяют произвести четкое выделение структурно-стратиграфических комплексов.

Четкие, выраженные стратиграфические несогласия позволяют разделить осадочные образования региона на четыре структурно-вещественных комплекса: позднеме-

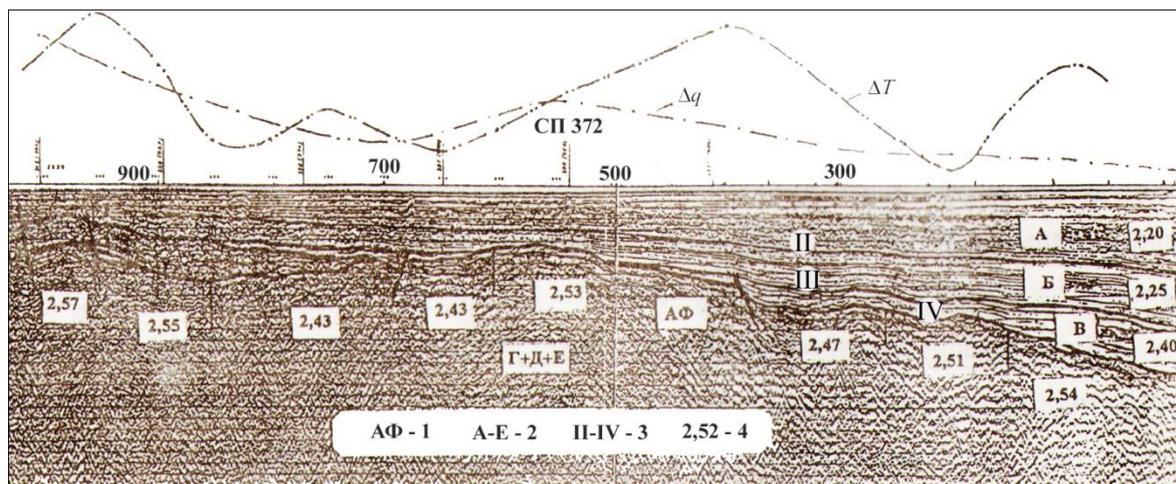
ловой, палеоцен-эоценовый, олигоцен-нижнемиоценовый и среднемиоцен-четвертичный [27] (рис. 4). Сложные сейсмогеологические условия затрудняют однозначное выделение двух нижних комплексов. Полагают, что они мало отличаются от аналогичных комплексов на смежной территории Сахалина.

Первый структурный комплекс сложен уплотненными осадочными и вулканогенно-осадочными породами мощностью до 4,0 км. Он без выраженной границы сменяется выше по разрезу вторым комплексом, выполненным в основном континентальными слабо-литифицированными осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями мощностью до 2 км. На прилегающей к проливу Невельского территории Энгизпальского стратиграфического района нижний комплекс палеоцен-эоценового возраста представлен чередующимися пластами разномерных песчаников, алевролитов и аргиллитов Таусменской толщи, которые перекрывают преимущественно глинистые отложения Ныйденской пачки [20]. В сторону материкового берега мощность нижнепалеогеновых образований значительно сокращается, а в прибрежной зоне толща и вовсе выклинивается.



Рис. 3. Геологическая схема территории пролива Невельского (по данным листов карты М-54-IV, N-54-XXXIV и результатам сейсмических исследований [13, 27])

Fig. 3. Geological scheme of the territory of the Nevel'skiy Strait (according to the sheets of map M-54-IV, N-54-XXXIV and results of seismic studies [13, 27])



**Рис. 4.** Геолого-геофизический разрез по сейсмопрофилю № 372 [27]. 1 – акустический фундамент; 2 – структурно-стратиграфические комплексы; 3 – отражающие горизонты; 4 – расчетная плотность пород

**Fig. 4.** Geological and geophysical section of seismic profile no. 372 [27]. 1 – acoustic foundation; 2 – structural-stratigraphic complexes; 3 – reflecting horizons; 4 – calculated density of rock

Олигоцен-нижнемиоценовый комплекс представлен толщей осадков мощностью от 0,5 до 4,0 км. Нижняя часть комплекса (хойджинская свита в проливе и синхронная с ней мачигарская в Энгизпальском районе Сахалина) сложены глубоководными глинистыми и кремнистыми отложениями. На смежном участке материковой суши осадконакопление в это время практически отсутствовало. При формировании верхней толщи в прибрежно-материковой среде продолжалось накопление кремнистых алевроглинистых пород. На острове формировалась даехуринская свита, в ее верхней толще местами распространены андезитобазальты, шаровые лавы, туфы. Распространение литофизического комплекса по площади и разрезу имеет сложный характер из-за наличия вулканокластики вокруг вулканических центров на Сахалине, подобные отложения накапливались в Сихотэ-Алинском поясе [28]. В прибрежной зоне материка образовалась кизинская свита ( $N_1kz$ ), сложенная базальтами, андезитами и пирокластическими отложениями.

Выше по разрезу залегают толщи верхнекизинской подсвиты ( $N_1kz_2$ ), где преобладают долериты, андезиты, андезито-дациты и андезито-базальты. Близ побережья в составе подсвиты часто встречаются пирокластические отложения.

Отложения миоцен-плиоценового возраста в проливе разделяются на два структурно-стратиграфических комплекса: нижний (пески и слабо сцементированные алевролиты) мощностью 600–1200 м и верхний (чередование песков, алевролитов, глин с прослоями лигнитов) мощностью до 500 м. Внутреннее строение нижней толщи достаточно сложное: при слабоконтрастной локальной складчатости она разбита на ряд грабен и горстов. Верхний комплекс отличается от нижнего малой степенью дислоцированности и практически полным отсутствием разрывных нарушений.

Отложения верхнего структурно-стратиграфического комплекса аналогичны обнажающимся на поверхно-

сти отложениям нутовской свиты ( $N_2nt$ ), развитой на западном побережье о. Сахалин [28]. В прибрежной полосе они перекрыты чехлом четвертичных отложений. Толща представлена песками, слабо сцементированными песчаниками, в нижней и средней частях разреза встречаются редкие прослои галечников, гравелитов, алевролитов и глин.

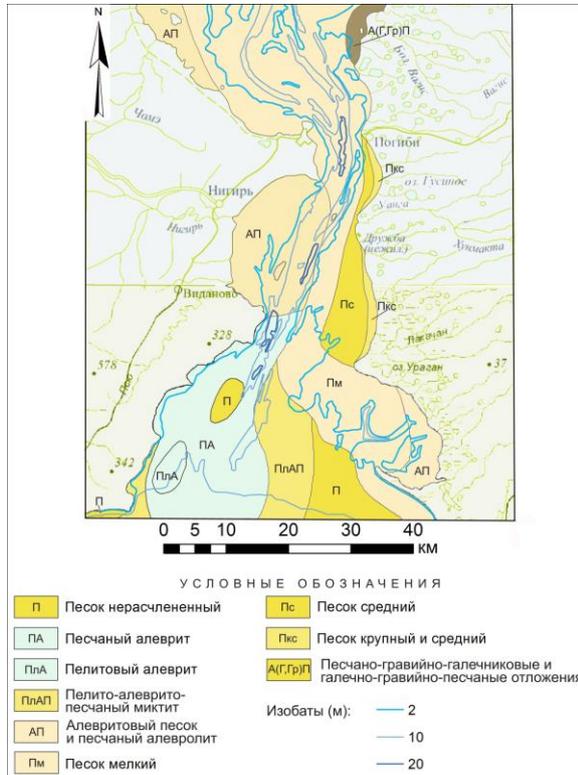
Комплекс неогеновых экструзий на побережье пролива Невельского образован породами, генетически связанными с эффузивами кизинской свиты, поэтому их слагают те же породы, которыми представлены покровные образования. Морфология экструзивных тел разнообразна, однако чаще они встречаются в виде даек, штоков, куполов. В большинстве случаев серии жильных пород приурочены к зонам дробления, при этом какого-либо существенного воздействия на вмещающие породы они не оказывают. Преобладающее простирание жильных пород совпадает с направлением береговой линии либо перпендикулярно к ней.

Стратиграфическая схема палеогеновых и неогеновых отложений в районе Татарского пролива, основанная на геологических и палеонтологических данных, хорошо коррелируется с другими кайнозойскими разрезами в Японском море и соседних окраинных бассейнах [29–36].

Верхнечетвертичные отложения в проливе и на его берегах представлены аллювиально-морскими, морскими и аллювиальными фациями (рис. 5). Как правило, в проливе морские отложения у берегов представлены теми же разностями пород, что и на суше.

Аллювиально-морские формирования распространены на большей части площади островной территории, где они слагают наклонную аккумулятивную равнину высотой 6–25 м. В разрезе этих комплексов в северной части территории резко преобладают пески, изредка в них отмечаются редкие прослои глины, гравия и мелкой гальки мощностью до 0,5 м. В юж-

ном направлении роль гравийно-галечных отложений заметно увеличивается. Подошва аллювиально-морских отложений не вскрыта, их поверхность перекрыта сплошным покровом современных торфяников. Мощность пачки вблизи береговой линии Татарского пролива составляет 20 м, а на некотором удалении от нее – уменьшается до 1–2 м.



**Рис. 5.** Литологическая схема поверхности дна пролива Невельского (по данным литологических карт и материалам инженерно-геологических изысканий) [37, 38]

**Fig. 5.** Lithological scheme of the surface of the bottom of the Nevelsky Strait (according to lithological maps and materials of engineering-geological surveys) [37, 38]

Верхнечетвертичные отложения морского генезиса залегают на островной территории в аккумулятивном чехле цокольной морской террасы, которая достигает высоты 10–20 м. В разрезе этого формирования преобладают галечники и гравий, ритмично чередующиеся с тонкими (0,4–0,5 м) прослоями грубозернистого гравелистого песка. К основанию разреза обычно отмечается заметное увеличение размеров галечного материала, местами появляются прослой валунно-галечных отложений с содержанием валунов до 20 %. Мощность отложений меняется от 4 до 7 м.

Аллювиальные отложения верхнечетвертичного возраста выделены в незначительном объеме в материковой части. Их вскрытая мощность не превышает 2 м, истинная неизвестна. Поверхность галечников перекрыта современными торфяниками.

Современные отложения, которые отнесены к нерасчлененным на материке, на острове прекрасно

разделены на нижний ( $Q_{IV}^1$ ) и верхний ( $Q_{IV}^2$ ) горизонты [37, 38]. Нижний горизонт представлен аллювиальными, аллювиально-морскими и морскими фациями.

Аллювиальные породы нижнего горизонта ( $Q_{IV}^1$ ), вскрывающиеся в приустьевых частях материковых рек, представлены глинами, суглинками и тонкозернистыми песками. Грубообломочные разности не характерны для данного типа отложений. Мощность аллювия в низовьях наиболее крупных рек, возможно, превышает 10 м.

Аллювиально-морские отложения представлены в нижней части разреза песками, в верхней – суглинками или глинами, их мощность достигает 6–8 м.

Морские отложения нижнего горизонта слагают аккумулятивную террасу высотой 2–5 м, которая протягивается узкой полосой вдоль сахалинского побережья. Терраса сложена песками и песчано-гравийными отложениями. Мощность морских отложений 4–6 м.

Верхний горизонт современных отложений ( $Q_{IV}^2$ ) на островной части площади представлен аллювиальными, аллювиально-морскими, морскими, эоловыми и органогенными образованиями.

Аллювиальные отложения встречаются повсеместно в поймах рек. Мощность этих отложений достигает 3–5 м. В приустьевых частях рек пойменные отложения замещаются аллювиально-морскими, которые представлены суглинками, глинами, песками. Морские отложения слагают низкую морскую террасу высотой 0,5–1,5 м, береговые валы кос, пляж и широкую полосу осушки. Они представлены преимущественно песками с маломощными линзами мелкого гравия и песчанистых глин.

Органогенные образования представляют собой рыхлый, слабо разложившийся, неуплотненный торф, который сплошным покровом мощностью до 3–4 м перекрывает на значительной площади верхнечетвертичные и современные (нижний горизонт) толщи.

Эоловые отложения также имеют современный возраст. Они распространены вдоль морского побережья Сахалина, образуют серию небольших дюн высотой 3–6 м.

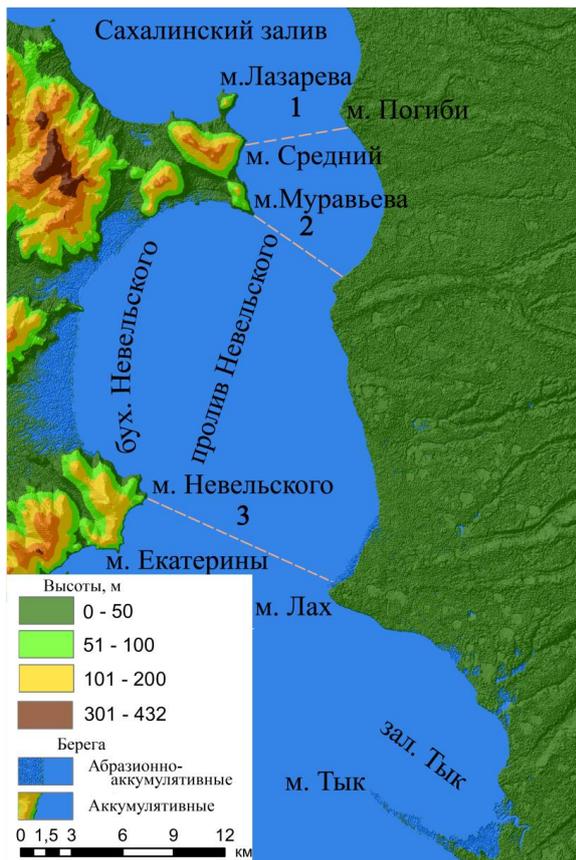
#### Геоморфологическая характеристика побережья и береговой зоны

Морфометрический анализ рельефа выполнен на основе модели рельефа ALOS World 3D, созданной Японским агентством аэрокосмических исследований (JAXA). Разрешение снимков, используемых при создании модели для анализа рельефа побережья пролива Невельского, составляет 30 м. Данные находятся в открытом доступе [39, 40].

Обработка первичных данных осуществлялась с использованием пакета ArcGIS 10.3. Первичные данные, представляющие собой фрагменты стандартного размера (5×5 или 1×1 град.), были объединены и перепроецированы на изучаемую территорию. Для дальнейшей обработки, полученной ЦМР, использовался модуль Spatial Analyst. С помощью различных методик были проанализированы сведения о гипсо-

метрии, крутизне и экспозициях земной поверхности, характеристики эрозионных форм, плотность водотоков и другие параметры рельефа [41–52].

Первоначально карта была получена в растровом виде, далее она конвертировалась в векторный формат (рис. 6). Итоговая обработка оцифрованных данных осуществлялась в пакете MapInfo, при помощи которого рассчитана протяженность морфологических форм разных порядков. Полученная информация подтверждена результатами полевых наблюдений [53, 54].



**Рис. 6.** Гипсометрическая схема пролива Невельского (построена на основе модели рельефа ALOS World 3D) с возможными створами мостового перехода: 1 – «Средний»; 2 – «Южный» и 3 – «Новый»

**Fig. 6.** Geomorphological scheme of the Nevelsky Strait (based on the ALOS world 3D relief model) with possible bridge sections: 1 – «Sredny»; 2 – «Yuzhny» and 3 – «Novy»

Вдоль материкового побережья Татарского пролива севернее мыса Невельского преобладает абразионно-аккумулятивный тип побережья, южнее – абразионный. Для абразионных берегов характерны: активный клиф высотой в среднем от 15–20 до 60 м, волноприбойные ниши глубиной до 2,5 м и гроты в основании клифа, обилие «непропусков» и кекуров, а также незначительное развитие пляжей.

Абразионно-аккумулятивные берега развиты в центральных частях наиболее крупных бухт. Они имеют отмерший задернованный клиф и широкие

песчано-галечные пляжи. Местами между пляжем и задернованным береговым обрывом располагается невысокая (максимум 1–1,5 м) морская терраса шириной до 30 м, отделенная от пляжа штормовым береговым валом.

Для сахалинского побережья характерно распространение аккумулятивных форм. Одной из наиболее крупных современных форм является коса Тык. Ее протяженность около 10 км, ширина местами достигает 1 км. Формирование косы Тык связано с наличием мощного вдольберегового потока наносов, берущего начало немного севернее г. Александровска-Сахалинского и достигающего Амурского лимана, где меняется направление течений. Коса сложена песчаным материалом. В ее рельефе отчетливо выделяется серия продольных береговых валов, наиболее крупные из которых имеют высоту около 4–5 м. В формировании рельефа косы Тык большую роль играют процессы перевывания и эоловой аккумуляции песчаного материала, слагающего первую морскую террасу: здесь отмечаются дюны высотой до 6 м.

Песчаный пляж развит вдоль всего побережья Сахалина. Ширина пляжа колеблется от 20–40 до 1–2 м близ мысов. К северу от косы Тык помимо узкой полосы пляжа современные аккумулятивные образования отсутствуют.

Обычные песчаные пляжи чаще всего плоские и невысокие. В пределах пляжей распространены небольшие береговые валы и их серии. При наносе мелкозернистого материала их высота не превышает одного метра. Шлейф кончается крутым уступом, за которым на глубину уходит слабо наклоненное дно. Бровка и собственно уступ валов сложены наиболее грубым материалом (гравий, ракушки), вымытым из толщи наноса.

Сахалинские берега практически в любом месте находятся под сильным влиянием сгонно-нагонных процессов. Приливы и нагоны затопляют часть пляжа, лежащую выше уровня сизигийных приливов.

Строение следующей за береговыми валами зоны нагонов зависит от волнового режима в зоне пляжа. На верхней границе пляжа песок аккумулируется во время сильных штормов, сопровождаемых нагоном. Здесь может сформироваться несколько береговых валов. При сильных ветрах возникают эоловые формы. Обычно вблизи верхней границы пляжа развивается растительность, способная переносить временное засоление. И, наконец, линия, до которой поднимаются нагонные волны отмечается накоплениями плавника.

Во время штормов и нагонов песчаный пляж полностью выравнивается и представляет собой единую поверхность шириной до 40–50 м, по которой может прокатываться прибойный поток. В это время могут формироваться временные, едва выраженные в рельефе бары и гряды; за ними застаивается вода от наиболее крупных волн, которая приводит к периодическим прорывам баров. Вода, стекающая через разрыв, уносит в море прилегающую часть песчаного накопления.

В случае, когда при очень сильных штормах происходит перестройка прибрежной зоны, запасы песчаного материала пляжа в сечении берега могут очень сильно меняться. Эти изменения сглаживаются лишь через длительные промежутки времени или вообще остаются необратимыми. При небольших размерах волн, прежде всего, сокращается зона взмучивания материала и падает концентрация суспензии. Оседание части материала еще более выполаживает склон и тем самым создает условия для активного перемещения донного материала, что всегда способствует формированию прибрежного подводного вала [54].

Количество материала, переходящее в суспензию, зависит от интенсивности движений воды в придонном слое. Состояние равновесия достигается, когда выпадение материала из суспензии в нижних частях склона ослабляет волны у берега, так что они могут взмучивать как раз столько материала, сколько его оседает здесь же в момент смены направления волнового течения [54]. При уменьшении волнения происходит выпадение взвешенного материала на дно и одновременно его перемещение к берегу, сопровождающееся увеличением крутизны склона.

При подходе волн по нормали к берегу легко обнаруживается связь в расположении этих форм с конфигурацией прибрежного подводного вала. Там, где вал всего ближе примыкает к берегу, у последнего создается участок волновой тени, в которой концентрируются наносы. При косом подходе волн вдоль берега возникает поток наносов. Волны смывают песок с наветренной стороны выступа, затем он откладывается с подветренной, вызывая смещение выступа в целом и асимметрию его очертаний.

На гравийных пляжах формируются высокие береговые валы, а подводный склон является относительно приглубым. Материал гравийных пляжей относительно мало подвержен транспортирующему действию течений, поэтому формы мезорельефа, свойственные песчаным пляжам, в таких местах не встречаются или имеют малые размеры и иное строение.

В рельефе островной части выделяются аккумулятивные поверхности трех относительных уровней, абсолютные высоты которых: 40–25, 25–6 и 4–0,5 м.

Аккумулятивная пологонаклонная поверхность высотой 25–6 м развита широкой полосой вдоль всего побережья пролива. Она сложена аллювиально-морскими отложениями верхнечетвертичного возраста,

перекрытыми покровом торфяников. Местами над ней возвышаются небольшие останцовые вершины высотой около 30 м, сложенные породами нутовской свиты. Равнина расчленена долинами многочисленных рек и ручьев, наиболее крупные из которых (долины рек Тык, Варнак, Черная, Лакачан и др.) террасированы. В большинстве случаев равнина срезается линией берега, а на отдельных участках граничит с более молодой (современной) поверхностью аллювиально-морской и морской аккумуляции. Обычно их разделяет четкий уступ крутизной 20–30°.

К настоящему времени западный берег острова находится в стадии геоморфологической или динамической зрелости: уклоны профиля аккумулятивных участков практически соответствуют их аналогам в составе древних абразионных поверхностей с отмершими клифами [53].

#### Заключение

Рифтогенная структура пролива Невельского, состоящая из блоков земной коры, рассеченных глубинными разломами, отнесена к зоне с возможными сейсмическими сотрясениями в 7–8 баллов по шкале MSK-64. Предварительные результаты показывают возможность строительства мостового перехода I класса сейсмостойкости. Наиболее спокойным в сейсмическом отношении представляется створ «Новый» (м. Невельского – м. Лах) [55].

Разрушение побережья происходит в основном из-за дробления коренных пород при ударах гальки, приносимой прибойной волной. Скорости отступления берега сильно зависят от прочности пород: минимальная величина наблюдалась в районе мысов, сложенных вулканитами (практически без изменений). Целесообразно створы проектируемого сооружения начинать на материковом берегу от береговых уступов, которые сложены покровами лав и пирокластички базальтового и андезитового состава массивной текстуры (мысы Невельского, Екатерины, Муравьева, Средний). Скорость абразии на мысу Невельского, установленная по данным космических съемок, не превышала 1 м за 100 лет. На сахалинском берегу сооружение целесообразно выводить на береговой уступ мыса Лах (он меньше всего подвержен размыву, потому что к нему примыкает отмерший клиф). Далее дорогу можно прокладывать по водораздельной линии между долинами р. Лах и р. Черной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутков В.В. О возможности улучшения климата нашего побережья Японского моря. Докладная записка // Мост на Сахалин. Япония–Сахалин–Европа. URL: <http://mostsakhalin.ru/publications/detail.php?ID=1588> (дата обращения 25.01.2019).
2. Унтербергер Г.И. Представление на № 1242 1892 г. Господину Приамурскому генерал-губернатору 15 апреля 1892 г. Владивосток // «Советский Сахалин», № 2, 11.01.2008. Мост на Сахалин. Япония–Сахалин–Европа. URL: <http://mostsakhalin.ru/publications/detail.php?ID=1588> (дата обращения 25.01.2019).
3. Костанов А.И. Самая восточная дорога России: очерки истории Сахалинской железной дороги. – М.: Транспорт, 1997. – 220 с.
4. Казанский Н.Н. Поборник освоения Восточных районов Сибири Николай Николаевич Колосовский // География и природные ресурсы. – 2007. – № 1. – С. 157–164.
5. Григорьев И. БАМ: начинали зеки, продолжали комсомольцы // Interfax.by. URL: <https://www.interfax.by/article/96008> (дата обращения 25.01.2019).
6. Недострой века: история о том, как Сталин пытался соединить Сахалин с материком // SakhalinMedia.ru. URL: <https://sakhalinmedia.ru/news/531809> (дата обращения 25.01.2019).
7. Ведерников Г.П. Тайны объекта № 6: как я нашел чертежи тоннеля на Сахалин. URL: <https://habinfo.ru/most-na-sahalin/> (дата обращения 25.01.2019).
8. Заключение Госстроя СССР № 115сс по техническому проекту на строительство тоннельного перехода под Татарским проливом от 22.11.1952. ГА РФ. Ф. Р-5446. Оп. 60. Д. 7891.

- Л. 2-10. Подлинник // Исторический архив. – 2001. – № 6. – С. 71–77. URL: <http://www.mostsakhalin.ru/history/115.php> (дата обращения 25.01.2019).
9. Ушаков В.Н. Проект века: Трансмагистраль Хоккайдо – Сахалин – Лондон // LitNet.com. URL: [http://samlib.ru/u/ushakov\\_w\\_n/msworddoc-4.shtml](http://samlib.ru/u/ushakov_w_n/msworddoc-4.shtml) (дата обращения 25.01.2019).
10. Федеральная целевая программа «Модернизация транспортной системы России (2002–2010 годы)». Утверждена Постановлением Правительства РФ от 5 декабря 2001 г. № 848. Собрание законодательства Российской Федерации. – 2001. – № 51. – ст. 4895. URL: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.phtml?nb=100&issid=1002001051000&docid=88> (дата обращения 25.01.2019).
11. Хведчук И.И., Ефременов А.Ф., Балабко Г.Ф. Современный структурный план и геологическое строение дна Татарского пролива // Рельеф и структура осадочного чехла акваториальной части Дальнего Востока. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. – С. 70–80.
12. Веселов О.В., Жигулев В.В., Патрикеев В.Н. Глубинная структура земной коры по данным ГСЗ и других сейсмических методов // Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря / под ред. О.В. Веселов, Е.В. Грецкая, А.Я. Ильёв, В.Э. Кононов, Е.В. Кочергин и др.; отв. ред. К.Ф. Сергеев. – М.: Наука, 2006. – С. 40–44.
13. Волгин П.Ф., Корнев О.С., Васюк И.Б. Структурно-геологическая обстановка и перспективы нефтегазоносности северной части Татарского пролива // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах Северо-Западной окраины Тихого океана: сб. статей / отв. ред. Е.В. Кочергин, В.Н. Сеначин. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2000. – Т. 1. – С. 55–66.
14. Ким Ч.У. К вопросу выделения зон ВОЗ территории севера Сахалина и близлежащих акваторий // Сейсмическое районирование шельфа. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – С. 99–116.
15. Гнибиденко Г.С. О рифтовой природе дна Охотского моря // Доклады АН СССР. – 1976. – Т. 229. – № 1. – С. 163–165.
16. Lallemand S., Jolivet L. Japan Sea: a pull apart basin // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1985. – V. 76. – P. 375–389.
17. Hosoi J., Amano K. Submarine basaltic fountain eruptions in a back-arc basin during the opening of the Japan Sea // *Journal of Asian Earth Sciences*. – November 2017. – V. 149. – P. 103–109.
18. Van Hone A., Sato H., Ishiyama T. Evolution of the Sea of Japan back-arc and some unsolved issues // *Tectonophysics*. – 25 July 2017. – V. 710–711. – P. 6–20.
19. Леликов Е.П., Карп Б.Я. Глубинное строение и рифтогенез в Японском море // *Литосфера*. – 2004. – № 2. – С. 16–29.
20. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность / Ю.Б. Гладенков, О.К. Баженова, В.И. Гречин, Л.С. Маргулис, Б.А. Сальников / отв. ред. Ю.Б. Гладенков. – М.: ГЕОС, 2002. – 225 с.
21. Активные разломы Северо-Восточного Сахалина / Р.Ф. Булгаков, А.И. Иващенко, Ч.У. Ким, К.Ф. Сергеев, М.И. Стрельцов, А.И. Кожурин, В.М. Бесстрашнов, А.Л. Стром, Я. Сузуки, Х. Цуцуми, М. Ваганабе, Т. Уеки, Т. Шимамото, К. Окумура, Х. Гото, Я. Кария // *Геотектоника*. – 2002. – № 3. – С. 66–86.
22. Воейкова О.А., Несмеянов С.А., Серебрякова Л.И. Неотектоника и активные разрывы Сахалина / отв. ред. В.И. Макаров. – М.: Наука, 2007. – 186 с.
23. Уломов В.И., Богданов М.И. Новый комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2012) // *Инженерные изыскания*. – 2013. – № 8. – С. 8–17.
24. Свод правил СП 268.1325800.2016 «Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования» (Приказ Минстроя России от 16 декабря 2016 г. № 986/пр). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293747/4293747661.htm> (дата обращения 25.01.2019).
25. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Нижне-Амурская. Лист М-54-IV / под ред. С.А. Салун. – М., 1974.
26. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Нижне-Амурская. Лист N-54-XXXIV / под ред. И.И. Тучкова. – М., 1962.
27. Глубинное строение пролива Невельского и прилегающих областей по данным геофизических исследований / Л.Н. Соллодилов, Ю.Ф. Коновалов, А.В. Егоркин, Е.Е. Золотов, В.А. Ракитов // Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей Северо-Западной Тихоокеанской плиты: Материалы международного научного симпозиума / под ред. К.Ф. Сергеева, Е.В. Кочергина, В.М. Гранника. – Южно-Сахалинск, 24–28 сентября 2002. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. – Т. 1. – С. 129–132.
28. Геология и особенности вулканизма дна Охотского моря / Т.А. Емельянова, Е.П. Леликов, В.Т. Съедин, В.И. Нарьжный // *Тихоокеанская геология*. – 2003. – Т. 22. № 4. – С. 3–18.
29. Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Пугачев А.А. Вулканизм и тектоника центральной глубоководной котловины Японского моря // *Океанология*. – 2018. – Т. 58. – № 1. – С. 129–144.
30. Cough S.K., Lee K.E. Multi-stage volcanism in the Ulleung back-arc basin, East Sea (Sea of Japan) // *Island Arc*. – 1992. – V. 1. – P. 32–39.
31. Hirata N., Kurashimo E. Seismic crustal structure of the Japan Sea: new results by ocean bottom seismographic observations // *Rifted ocean-continent boundaries* / Ed. by E. Band et al. – Dordrecht: Kluwer, 1995. – P. 355–369.
32. Ludwig W.I., Murauchi S., Houtz R.E. Sediments and structure of the Japan Sea // *Bull. Geol. Soc. Amer.* – 1975. – V. 86. – P. 651–664.
33. Radiolarian assemblages in surface sediments of the Japan Sea / I. Motoyama, Y. Yamada, M. Hoshiba, T. Itaki // *Paleontological Research*. – 2016. – № 20 (3). – P. 176–206.
34. Radiolarian Biostratigraphy from Middle Miocene to Late Pleistocene in the Japan Sea / S. Kamikuri, T. Itakii, I. Motoyama, K.M. Matsuzaki // *Paleontological Research*. – 2017. – V. 21. – № 4. – P. 397–421.
35. Kurita H. A review on recent progress in Paleogene – Early Miocene stratigraphy in central Hokkaido and its implications to Cenozoic basin development at the northeastern margin of the present Japan Sea // *Development of Tertiary sedimentary basins around Japan Sea (East Sea)* / Eds. M. Tateishi, H. Kurita. – Niigata: Niigata Univ., 2002. – P. 129–138.
36. Morita R., Titiva L.V., Akiba F. Oligocene – Early Miocene Mollusks and Diatoms from the Kitami-Tsubetsu Area, Eastern Hokkaido, Japan // *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 2 (Geol.)*. – 1996. – V. 63. – № 2. – P. 3–213.
37. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000. Серия Дальневосточная. Лист N-54 (Николаевск-на-Амуре). Литологическая карта. Составители цифровой модели Т.А. Потахина, Е.А. Яковлева. Автор С.А. Бондаренко / под ред. Г.В. Роганова, О.И. Супруненко. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016.
38. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000. Серия Дальневосточная. Лист М-54 (Александровск-Сахалинский). Литологическая карта поверхности дна акваторий. Гл. науч. редактор В.Н. Залепугин. – СПб.: Карт. фабрика ВСЕГЕИ, 2017.
39. High-resolution digital 3D map covering the entire global land area // NTT DATA WEB site. URL: <https://www.aw3d.jp/en/products/standard/> (дата обращения 10.02.2019).
40. Takaku J., Tadono T. Quality updates of AW3D global DSM generated from ALOS PRISM // 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – Fort Worth, TX, 2017. – P. 5666–5669. DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8128293
41. Каличкин В.К., Павлова А.И. Автоматизированный способ классификации земель на основе анализа морфометрии рельефа // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2017. – Т. 47. – № 1 (254). – С. 5–11.
42. Атаев З.В., Братков В.В. Применение морфометрического анализа рельефа для выделения горно-равнинных ландшафтов-экотон (на примере Северо-Восточного Кавказа) // *Юг России: экология, развитие*. – 2012. – Т. 7. – № 2. – С. 87–93.
43. GIS Applications in Geomorphology / J.-C. Otto, G. Prasicsek, J.H. Blöthe, L. Schrott // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. – 2017. – P. 1–30. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10029-6.
44. Basu T., Pal S. RS-GIS based morphometrical and geological multi-criteria approach to the landslide susceptibility mapping in Gish River Basin, West Bengal, India // *Advances in Space Research*. – 2019. – V. 63. – Iss. 3. – P. 1253–1269. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.10.033> (дата обращения 10.02.2019).

45. Chen C., Yu F. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS // *Geomorphology*. – 2011. – V. 129. – Iss. 3–4. – P. 387–397.
46. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems / J. Chacón, C. Irigaray, T. Fernández, R. El Hamdouni // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2006. – V. 65. – Iss. 4. – P. 341–411.
47. Coastal exposure of the Hawaiian Islands using GIS-based index modeling / Ya. Onat, M. Marchant, O.P. Francis, K. Kim // *Ocean & Coastal Management*. – 2018. – V. 163. – P. 113–129. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.06.003
48. Gomez C., Oguchi T., Evans S. Quantitative geomorphology with Geographical Information Systems (GIS) for evolving societies and science // *Geomorphology*. – 2016. – V. 260. – P. 1–3.
49. Stepinski T., Netzel P., Jasiewicz J. LandEx – a geoweb tool for query and retrieval of spatial patterns in land cover datasets // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2014. – V. 7. – № 1. – P. 257–266.
50. Comparison of different digital elevation models and satellite imagery for lineament analysis: implications for identification and spatial arrangement of fault zones in crystalline basement rocks of the southern Black Forest (Germany) / J. Meixner, J.C. Grimmer, A. Becker, E. Schill, T. Kohl // *Journal of Structural Geology*. – March 2018. – V. 108. – P. 256–268.
51. Li J., Narayanan R.M. Integrated spectral and spatial information mining in remote sensing imagery // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2004. – № 42(3). – P. 673–685. URL: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.824221> (дата обращения 10.02.2019).
52. Combining nadir and oblique uav imagery to reconstruct quarry topography: methodology and feasibility analysis / P. Rossi, F. Mancini, M. Dubbini, F. Mazzone, A. Capra // *European Journal of Remote Sensing*. – 2017. – V. 50(1). – P. 211–221. URL: <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1313097> (дата обращения 25.01.2019).
53. Афанасьев В.В., Игнатов Е.И., Чистов С.В. Морфология и динамика берегов и дна пролива Невельского района проектирования постоянного железнодорожного перехода. – Смоленск: Маджента, 2008. – 128 с.
54. Мониторинг переноса придонного потока осадков в прибрежно-морской зоне шельфа для выявления основных параметров моделей состояния экосистем / В.В. Ильин, В.А. Мелкий, А.А. Верхотуров, А.А. Гальцев, О.М. Зарипов, Д.В. Долгополов // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2016. – Т. 327. – № 1. – С. 105–115.
55. Васильков А.С. Проекты института «Гипростроймост» // *Дороги. Инновации в строительстве*. – 2013. – № 33. – С. 34–38.

Поступила 02.12.2019 г.

#### Информация об авторах

**Мелкий В.А.**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности Института морской геологии и геофизики ДВО РАН.

**Братков В.В.**, доктор географических наук, заведующий кафедрой географии Московского государственного университета геодезии и картографии.

**Верхотуров А.А.**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности Института морской геологии и геофизики ДВО РАН.

UDC 551:624

## GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL DETERMINANTS FOR CHOOSING THE PLACE OF TRANSPORT CROSSING «CONTINENT–SAKHALIN»

**Vyacheslav A. Melkiy<sup>1</sup>,**  
vamelkiy@mail.ru

**Vitaliy V. Bratkov<sup>2</sup>,**  
vbratkov@mail.ru

**Alexey A. Verkhoturov<sup>1</sup>,**  
ussr-91@mail.ru

<sup>1</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far East Branch of Russian Academy of Science,  
1b, Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia.

<sup>2</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography,  
4, Gorokhovskiy bystreet, Moscow, 105064, Russia.

*The geostrategic position of Russia in the Asia-Pacific region is determined by the level of economic, social and political development on the territory of Far East. The prospects for its improvement in view of modern realities and trends cannot be imagined without the development of transport and economic connections between the subjects, including Sakhalin Island and the mainland. The transcontinental transport market within the international transport corridors is huge positive potential for development of the regions of the Far East, Siberia and the whole Russia. The decision to develop the transport infrastructure of the outskirts at the level of the Government of the Russian Federation will demonstrate the State attitude to its Far Eastern territory and outline its positions in the Asia-Pacific region.*

**The relevance** of the research is caused by the need to develop design solutions for selection of possible options for organization of sustainable year-round transport links between the mainland and Sakhalin for development of the resource potential of adjacent territories. The final choice of the location and type of construction, which will ensure uninterrupted transportation by rail and road through the Tatar Strait, can be made only after thorough analysis of the advantages of any of them, depending on natural conditions.

**The aim** of the research is to analyze the results of geological and geomorphological studies in the Nevelskogo Strait (narrowest part of the Tatar Strait) to select the location of the transport crossing.

**Materials and methods of the research.** The information basis for the study was cartographic materials, earth remote sensing data, seismic profiles, other data obtained as a result of engineering and scientific research, in which the authors participated, as well as information from literary sources. Mapping in the geographic information environment allowed updating geological maps, applying new data on faults, clarifying the boundaries of stratigraphic strata. In geomorphological studies, a system-morphological approach was used, which makes it possible to assess the geomorphological risk. The available information was used to model the processes in the Strait applying GIS technologies. The authors performed geological work for study of the leading line «Novy» in 2001. The most part of the information is published for the first time.

As result of the studies of geological structure of the coastal territory and the bottom of the Nevelsky Strait, conducted during the research to justify the project of a bridge or tunnel transition from the mainland to Sakhalin (including those with the participation of the authors), it was revealed that the rift structure of the Nevelsky Strait consists of blocks of the earth's crust, dissected by deep faults. The territory is classified as an area where seismic shocks are possible at 7–8 points on the MSK-64 scale. The retreat of the mainland coast is highly dependent on the strength of the rocks. The intensity of abrasion of Nevelsky Cape, established according to the space surveys, did not exceed 1 m per 100 years, so leading line of the designed facilities on the construction shore is advisable to start from the coastal ledges (cliffs), which are composed of lava and pyroclastic deposits of basalt and andesite composition with massive texture (Nevelsky, Ekaterina, Muravyov capes etc.). On the Sakhalin coast, the construction can be brought to the coastal ledge of Lakh Cape (it is least susceptible to erosion). Preliminary results of the study of geological conditions have shown that the construction of a bridge of class I seismic resistance across the Strait is possible. The most calm in seismic respect is the leading line «Novy» (Nevelsky Cape – Lakh Cape). The obtained geomorphological data indicate that in this range the erosion of coastal ledges is minimal – first centimeters per year (during the observation period of 1 cm/year). Geological-geomorphological conditions will not have serious obstacles in the construction of the object along the line between these capes.

### Key words:

Geoinformation mapping, remote sensing of the Earth, blocks of the earth's crust, engineering surveys, stratigraphy, geomorphology, tectonics, mathematical modeling, geodetic reference.

### REFERENCES

- Butkov V.V. O vozmozhnosti uluchsheniya klimata nashego poberezhya Yaponskogo morya. Dokladnaya zapiska [On the possibility of improving the climate of our coast of the sea of Japan. Memo]. *Most na Sakhalin. Yaponiya–Sakhalin–Evropa* [Bridge to Sakhalin. Japan–Sakhalin–Europe]. Available at: <http://mostsakhalin.ru/publications/detail.php?ID=1588> (accessed 25 January 2019).
- Unterberger G.I. Predstavlenie na № 1242 1892 g. Gospodinu Priamurskomu general-gubernatoru 15 aprelya 1892 g. Vladivostok [Presentation at No 1242, 1892 Mr. Priamursky Governor-General April 15, 1892 Vladivostok]. «Sovetskiy Sakhalin», no.2, 11 January 2008. *Most na Sakhalin. Yaponiya–Sakhalin–Evropa* [Bridge to Sakhalin. Japan–Sakhalin–Europe]. Available at: <http://mostsakhalin.ru/publications/detail.php?ID=1588> (accessed 25 January 2019).
- Kostanov A.I. *Samaya vostochnaya doroga Rossii: ocherki istorii Sakhalinskoy zheleznoy dorogi* [The easternmost road in Russia: essays on the history of the Sakhalin railway]. Moscow, Transport Publ., 1997. 220 p.
- Kazanskiy N.N. Pobornik osvoeniya Vostochnykh rayonov Sibiri Nikolay Nikolaevich Kolosovskiy [The furtherer of development of

- Siberia's eastern regions Nikolai Nikolayevich Kolosovsky]. *Geography and natural resources*, 2007, no. 1, pp. 157–164.
5. Grigorev I. BAM: nachinali zeki, prodolzhalii komsomoltsy [BAM: started by Zeki, continued by the Komsomol]. *Interfax.by*. Available at: <https://www.interfax.by/article/96008>. (accessed 25 January 2019).
  6. Nedostroy veka: istoriya o tom, kak Stalin pytalsya soedinit Sakhalin s materikom [Incompleteness of century: the story of how Stalin tried to connect Sakhalin with the Mainland]. *SakhalinMedia.ru*. Available at: <https://sakhalinmedia.ru/news/531809>. (accessed 25 January 2019).
  7. Vedernikov G.P. *Tayny obekta No 6: kak ya nashel chertezhi tonnelya na Sakhalin* [Secrets of object No 6: how I found the drawings of the tunnel on Sakhalin]. Available at: <https://habinfo.ru/most-na-sahalin/> (accessed 25 January 2019).
  8. Zaklyuchenie Gosstroya SSSR № 115ss po tekhnicheskomu proektu na stroitelstvo tonnelnogo perekhoda pod Tatarskim prolivom ot 22.11.1952. GA RF. F. R-5446. Op. 60. D. 7891. L. 2-10. Podlinnik [The conclusion of Gosstroy of the USSR № 115cc Technical project for construction of the tunnel crossing under the Tatar Strait from 22.11.1952. GARF. P-5446. Op. 60. D. 7891. L. 2-10. Original]. *Istoricheskii arkhiv*, 2001, no. 6, pp. 71–77. Available at: <http://www.mostsakhalin.ru/history/115.php> (accessed 25 January 2019).
  9. Mkrtychan Ya.S. Soedinenie ostrova Sakhalin s materikom – mif ili realnost [Connection of Sakhalin island with the Mainland – myth or reality]. *RusKonTest*. Available at: [http://samlib.ru/u/ushakov\\_w\\_n/msworddoc-4.shtml](http://samlib.ru/u/ushakov_w_n/msworddoc-4.shtml) (accessed 25 January 2019).
  10. Federalnaya tselevaya programma «Modernizatsiya transportnoy sistemy Rossii (2002–2010 gody)». Utverzhdena Postanovleniem Pravitelstva RF ot 5 dekabrya 2001 g. no 848. *Sobranie zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii*, 2001, no. 51, st. 4895. [Federal target program «Modernization of the Russian transport system (2002–2010)». Approved by the Government of the Russian Federation on December 5, 2001, no. 848]. Available at: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.phtml?nb=100&issid=1002001051000&docid=88> (accessed 25 January 2019).
  11. Khvedchuk I.I., Efremkov A.F., Balabko G.F. Sovremennyy strukturnyy plan i geologicheskoe stroenie dna Tatarskogo proliva [Modern structural plan and geological structure of the bottom of the Tatar Strait]. *Relief i struktura osadochnogo chekhla akvatoriyalnoy chasti Dalnego Vostoka* [The relief and structure of the sedimentary cover of the water area of the Far East]. Vladivostok, Far Eastern research center of the USSR Academy of Sciences Publ., 1981. pp. 70–80.
  12. Veselov O.V., Zhigulev V.V., Patrikeev V.N. Glubinnaya struktura zemnoy kory po dannym GSZ i drugikh seismicheskikh metodov [The deep structure of the earth's crust according to NHS and other seismic methods]. *Tektonicheskoe rayonirovanie i uglevodorodny potentsial Okhotskogo morya* [Tectonic zoning and hydrocarbon potential of the sea of Okhotsk]. Eds. O.V. Veselov, E.V. Gretskeya, A.Ya. Ilev, V.E. Kononov, E.V. Kochergin. Managing editor K.F. Sergeev. Moscow, Nauka Publ., 2006. pp. 40–44.
  13. Volgin P.F., Kornev O.S., Vasyuk I.B. Strukturno-geologicheskaya obstanovka i perspektivy neftegazonosnosti severnoy chasti Tatarskogo proliva [Structural-geological setting and prospects of hydrocarbon potential of the Northern part of the Tatar Strait]. *Stroenie zemnoy kory i perspektivy neftegazonosnosti v regionakh Severo-Zapadnoy okrainy Tikhogo okeana. Sbornik statey* [Structure of the crust and petroleum potential in the regions of the North-Western margin of the Pacific ocean. Collection of papers]. Managing editors E.V. Kochergin, V.N. Senachin. Yuzhno-Sakhalinsk, IMGIG DVO RAN, 2000. Vol. 1, pp. 55–66.
  14. Kim Ch.U. K voprosu vydeleniya zon VOZ territorii severa Sakhalina i blizlezhnykh akvatoriy [On the issue of highlighting the VOZ areas of the territory of the Northern Sakhalin island and surrounding areas]. *Seismicheskoe rayonirovanie shelfa* [Seismic zoning of the shelf]. Vladivostok, DVO AN SSSR, 1990. pp. 99–116.
  15. Gribidenko H.S. About the rift nature of the bottom of the Sea of Okhotsk. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR. Earth Science Sections*, 1976, vol. 229, no. 1, pp. 163–165. In Rus.
  16. Lallemand S., Jolivet L. Japan Sea: a pull apart basin. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, vol. 76, pp. 375–389.
  17. Hosoi J., Amano K. Submarine basaltic fountain eruptions in a back-arc basin during the opening of the Japan Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, November 2017, vol. 149, pp. 103–109.
  18. Van Hone A., Sato H., Ishiyama T. Evolution of the Sea of Japan back-arc and some unsolved issues. *Tectonophysics*, 2017, vol. 710–711, pp. 6–20.
  19. Lelikov E.P., Karp B.Ya. Deep structure and riftogenesis in the Sea of Japan. *Lithosphere*, 2004, no. 2, pp. 16–29. In Rus.
  20. Gladenkov Yu.B., Bazhenova O.K., Grechin V.I., Margulis L.S., Salnikov B.A. *Kaynozoy Sakhalina i ego neftegazonosnost* [Cenozoic of Sakhalin and its oil and gas potential]. Managing editor Yu.B. Gladenkov. Moscow, GEOS Publ., 2002. 225 p.
  21. Bulgakov R.F., Ivashchenko A.I., Kim Ch.U., Sergeev K.F., Streltsov M.I., Kozhurin A.I., Besstrashnov V.M., Strom A.L., Suzuki Y., Tsutsumi H., Watanabe M., Ueki T., Shimamoto T., Okumura K., Goto H., Kariya Y. Active faults in northeastern Sakhalin. *Geotectonics*, 2002, no. 36 (3), pp. 227–246. In Rus.
  22. Voeykova O.A., Nesmeyanov S.A., Serebryakova L.I. *Neotektonika i aktivnye razryvy Sakhalina* [Neotectonics and active breaks of Sakhalin]. Managing editor V.I. Makarov. Moscow, Nauka Publ., 2007. 186 p.
  23. Ulomov V.I., Bogdanov M.I. New set of maps of General seismic zoning of the territory of the Russian Federation (OSR-2012). *Inzhenernyye izyskaniya*, 2013, no. 8, pp. 8–17. In Rus.
  24. *Svod pravil SP 268.1325800.2016 «Transportnye sooruzheniya v seismicheskikh rayonakh. Pravila proektirovaniya» (Prikaz Ministroya Rossii ot 16 dekabrya 2016 g. № 986/pr)* [Transport structures in seismic zones. Specifications for earthquake-resistant design in seismic zones. Order of the Ministry of Construction of Russia, December 16, 2016 No 986/pr]. Moscow, Minstroy RF., 2016. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293747/4293747661.htm> (accessed 25 January 2019).
  25. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR* [State geological map of the USSR]. M 1:200000. Series Nizhne-Amurskaya. Sheet: M-54-IV. Ed. by S.A. Salun. Moscow, 1974.
  26. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR* [State geological map of the USSR]. M 1:200000. Series Nizhne-Amurskaya. Sheet: M-54-XXXIV. Ed. by I.I. Tuchkov. Moscow, 1962.
  27. Solodilov L.N., Kononov Yu.F., Egorin A.V., Zolotov E.E., Rakitov V.A. Glubinnoye stroenie proliva Nevel'skogo i prilgayushchikh oblastey po dannym geofizicheskikh issledovaniy [Deep structure of the Nevel'sky Strait and adjacent areas according to the geophysical research]. *Stroenie, geodinamika i metallogeniya Okhotskogo regiona i prilgayushchikh chastey Severo-Zapadnoy Tikhookeanskoj plity. Materialy mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma* [Structure, geodynamics and metallogeny of the Okhotsk region and adjacent parts of the North-Western Pacific plate. Proc. of the International scientific Symposium]. Yuzhno-Sakhalinsk, 24–28 September 2002. Eds. K.F. Sergeev, E.V. Kochergin, V.M. Grannik. Yuzhno-Sakhalinsk, IMG&G FEB RAS, 2002, Vol. 1, pp. 129–132.
  28. Emelyanova T.A., Lelikov E.P., Sedin V.T., Naryzhnyy V.I. Geology and features of volcanism of the bottom of the sea of Okhotsk. *Russian journal of Pacific Geology*, 2003, vol. 22, no. 4, pp. 3–18. In Rus.
  29. Lelikov E.P., Emelyanova T.A., Pugachev A.A. Volcanism and tectonics of the central deep basin of the Sea of Japan. *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 1, pp. 129–144. In Rus.
  30. Cough S.K., Lee K.E. Multi-stage volcanism in the Ulleung back-arc basin, East Sea (Sea of Japan). *Island Arc*, 1992, vol. 1, pp. 32–39.
  31. Hirata N., Kurashimo E. Seismic crustal structure of the Japan Sea: new results by ocean bottom seismographic observations. *Rifted ocean-continent boundaries*. Ed. by E. Band. Dordrecht, Kluwer, 1995. pp. 355–369.
  32. Ludwig W.I., Murauchi S., Houtz R.E. Sediments and structure of the Japan Sea. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1975, vol. 86, pp. 651–664.
  33. Motoyama I., Yamada Y., Hoshiba M., Itaki T. Radiolarian assemblages in surface sediments of the Japan Sea. *Paleontological Research*, 2016, vol. 20, no. 3, pp. 176–206.
  34. Kamikuri S., Itakii T., Motoyama I., Matsuzaki K.M. Radiolarian Biostratigraphy from Middle Miocene to Late Pleistocene in the Japan Sea. *Paleontological Research*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 397–421.

35. Kurita H. A review on recent progress in Paleogene – Early Miocene stratigraphy in central Hokkaido and its implications to Cenozoic basin development at the northeastern margin of the present Japan Sea. *Development of Tertiary sedimentary basins around Japan Sea (East Sea)*. Eds. M. Tateishi, H. Kurita. Niigata, Niigata Univ., 2002. pp. 129–138.
36. Morita R., Titiva L.V., Akiba F. Oligocene-Early Miocene Mol-lusks and Diatoms from the Kitami-Tsubetsu Area, Eastern Hokkaido, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 2 (Geol.)*, 1996, vol. 63, no. 2, pp. 3–213.
37. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000000. Seriya Dalnevostochnaya. List N-54 (Nikolaevsk-na-Amure). Litologicheskaya karta* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000. Far Eastern Series. Sheet N-54 (Nikolaevsk-on-Amur). Lithological map]. Eds G.V. Roganov, O.I. Suprunenko. St-Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2016.
38. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000000. Seriya Dalnevostochnaya. List M-54 (Aleksandrovsk-Sakhalinskiy). Litologicheskaya karta poverkhnosti dna akvatoriy* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000. Far Eastern Series. Sheet M-54 (Alexandrovsk-Sakhalinskiy). Lithological map of the bottom surface of water areas]. Managing ed. V.N. Zalepugin. St-Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2017.
39. ALOS Global Digital Surface Model «ALOS World 3D – 30m (AW3D30)». *Advanced Land Observing Satellite. Earth Observation Research Center of Japan Aerospace Exploration Agency*. Available at: <https://www.aw3d.jp/en/products/standard/> (accessed 10 February 2019).
40. Takaku J., Tadono T. Quality updates of AW3D global DSM generated from ALOS PRISM. *2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Fort Worth, TX, 2017. pp. 5666-5669. DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8128293
41. Kalichkin V.K., Pavlova A.I. Automated method of land classification based on analysis of relief morphometry. *Siberian Bulletin of Agricultural science*, 2017, vol. 47, no. 1 (254), pp. 5–11. In Rus.
42. Ataev Z.V., Bratkov V.V. The use of morphometric analysis to highlight the relief of mountain-lowland landscapes – ecotones (on the example of the North-Eastern Caucasus). *South of Russia: ecology, development*, 2012, vol. 7, no. 2, pp. 87–93. In Rus.
43. Otto J.-C., Prasicek G., Blöthe J.H., Schrott L. GIS Applications in Geomorphology. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2017. pp. 1–30. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10029-6.
44. Basu T., Pal S. RS-GIS based morphometrical and geological multi-criteria approach to the landslide susceptibility mapping in Gish River Basin, West Bengal, India. *Advances in Space Research*, 2019, vol. 63, Iss. 3, pp. 1253–1269. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.10.033> (accessed 10 February 2019).
45. Chen C., Yu F. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS. *Geomorphology*, 2011, vol. 129, Iss. 3–4, pp. 387–397.
46. Chacón J., Irigaray C., Fernández T., El Hamdouni R. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2006, vol. 65, Iss. 4, pp. 341–411.
47. Onat Ya., Marchant M., Francis O.P., Kim K. Coastal exposure of the Hawaiian Islands using GIS-based index modeling. *Ocean & Coastal Management*, 2018, vol. 163, pp. 113–129. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.06.003
48. Gomez C., Oguchi T., Evans S. Quantitative geomorphology with Geographical Information Systems (GIS) for evolving societies and science. *Geomorphology*, 2016, vol. 260, pp. 1–3.
49. Stepinski T., Netzel P., Jasiewicz J. LandEx – a geoweb tool for query and retrieval of spatial patterns in land cover datasets. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2014, vol. 7, no. 1, pp. 257–266.
50. Meixner J., Grimmer J.C., Becker A., Schill E., Kohl T. Comparison of different digital elevation models and satellite imagery for lineament analysis: Implications for identification and spatial arrangement of fault zones in crystalline basement rocks of the southern Black Forest (Germany). *Journal of Structural Geology*, March 2018, vol. 108, pp. 256–268.
51. Li J., Narayanan R.M. Integrated spectral and spatial information mining in remote sensing imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2004, no. 42 (3), pp. 673–685. Available at: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.824221> (accessed 10 February 2019).
52. Rossi P., Mancini F., Dubbini M., Mazzone F., Capra A. Combining nadir and oblique uav imagery to reconstruct quarry topography: methodology and feasibility analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 2017, vol. 50 (1), pp. 211–221. Available at: <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1313097> (accessed 25 January 2019).
53. Afanasev V.V., Ignatov E.I., Chistov S.V. *Morfologiya i dinamika beregov i dna proliva Nevelskogo rayona proektirovaniya postoyannogo zheleznodorozhnogo perekhoda* [Morphology and dynamics of the beaches and the bottom of the Strait of Nevelsky district of design of the permanent railway crossing]. Smolensk, Madzhenta Publ., 2008. 128 p.
54. Ilin V.V., Melkiy V.A., Verkhoturov A.A., Galtsev A.A., Zaripov O.M., Dolgoplov D.V. Monitoring of the near-bottom flow of the sediments in the coastal zone of the shelf to identify the main parameters of the models of the ecosystems. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 1, pp. 105–115. In Rus.
55. Vasilkov A.S. Proekty instituta «Giprostroykost» [The projects of the Institute «Giprostroykost»]. *Dorogi*, 2013, no. 33, pp. 34–38.

Received: 2 December 2019.

#### Information about the authors

**Vyacheslav A. Melkiy**, Dr. Sc., leading researcher, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far East Branch of Russian Academy of Science.

**Vitaliy V. Bratkov**, Dr. Sc., head of Geography department, Moscow State University of Geodesy and Cartography.

**Alexey A. Verkhoturov**, Cand. Sc., senior researcher, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far East Branch of Russian Academy of Science.