

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА УЧАСТКОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАВОДОВ СПГ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ

В. В. Афанасьев, кандидат географических наук, заведующий лабораторией береговых геосистем, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, e-mail: vvasand@mail.ru, г. Южно-Сахалинск (Россия)

Рассматриваются результаты оценки технологической безопасности и воздействий на окружающую среду действующих и проектируемых заводов СПГ на побережье дальневосточных морей. Показан высокий уровень угроз водным биологическим ресурсам при производстве дноуглубительных работ. Используемые модели для определения характера переноса и осаждения взвешенных наносов не позволяют объективно оценить особенности осадконакопления данного типа в акваториях. Сделан вывод о необходимости детальных исследований площадки завода СПГ в зал. Де-Кастри на предмет исключения наличия глубинной суффозии по вулканическим туфам с образованием неоднородностей плотности и пустот.

The results of the assessment of technological safety and environmental impacts of existing and projected LNG plants along the coastlines of the Far Eastern seas are considered. A high level of threats to aquatic biological resources during dredging operations is shown. The models, used to determine the nature of transport and sedimentation of the suspended sediments, do not allow us to make an unbiased assessment of the features of sedimentation of a given type in water areas. The conclusion was drawn on the need for detailed studies of the site of the LNG plant in the De-Kastri Gulf for the exclusion of the presence of depth suffusion on volcanic tuffs with the formation of non-homogeneities of density and voids.

Ключевые слова: завод СПГ, дноуглубление, дампинг, глубинная суффозия, размыв берегов.

Keywords: LNG plant, dredging, dumping, depth suffusion, coastal erosion.

Введение. Государственная энергетическая стратегия предусматривает наращивание доли России на мировом рынке СПГ с 5 % в настоящее время до 12 % к 2035 г. Учитывая тенденции развития рынка, это станет возможным за счет увеличения масштабов производства СПГ примерно в 5 раз, до 55 млн т/г [1]. Все крупные российские СПГ-проекты ориентированы на экспорт, что объективно повышает уровень требований к экологической безопасности проектов. Однако специфика геопро пространственного положения объектов СПГ существенно усложняет эту задачу. В первую очередь речь идет о том, что заводы СПГ расположены на побережье, а конструкции, с которых производится отгрузка, находятся непосредственно в высокоэнергетической береговой зоне. Не менее важен тот факт, что в перспективе значительная часть проектов будет реализовываться в высоких широтах. В регионах, где механизмы морфолитодинамики береговой зоны изучены слабо [2].

Объектом данного исследования являются проекты заводов СПГ, планируемые к реализации. На примере первого в России построенного завода СПГ в заливе Анива анализируются экологические риски строительства в береговой зоне. Также в представленной работе рассмотрены некоторые вопросы обоснования выбора безопасных площадок для строительства объектов инфраструктуры объектов СПГ.

Результаты и обсуждение

Первый в России завод по производству сжиженного природного газа (СПГ) построен в 2005–2009 гг. на побережье залива Анива в южной части о-ва Сахалин. Основные производственные мощности расположены на 10-метровой морской цокольной террасе. Морская часть завода представлена 850-метровым причалом отгрузки СПГ эстакадного типа и подводным нефтепроводом протяженностью 4,2 км с терминалом отгрузки нефти (рис. 1).

Для обеспечения навигационных глубин были проведены дноуглубительные работы в объеме, превышающем 1,5 млн м³.

Традиционные для побережий проблемы, связанные с разрушением морских берегов, заводу не угрожают. Даже несмотря на то что за один шторм осени 2017 г. было разрушено 4–7 м берегового уступа, сложенного аргиллитами.

Основные проблемы проекта связаны с воздействием на водные биологические ресурсы (ВБР). В результате того что особенности минерального состава извлекаемых при дноуглублении твердых пород (а это были в основном разрушаемые алевриты) не были учтены, площадь губительного воздейст-



Рис. 1. Завод СПГ «Пригородное» (фото автора)

вия на донные организмы в результате перекрытия поверхности дна рыхлыми осадками оказалась в сотни раз выше расчетной [3]. Фактические данные о динамике осадков диаметрально противоположны результатам моделирования осаждения и распределения грунта в зоне дампинга. Следует также отметить, что в районе дампинга скорости течений в придонном слое нередко достигают значений 23 см/с [4], что дает возможность мобилизации и переноса более 40 % сброшенного грунта.

Мониторинговые работы, выполненные Сахалинским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии по соглашению с производителем дноуглубительных работ компанией CTSD Ltd., недостаточно обоснованы методически и поэтому выводы о естественной, не связанной со сбросом в залив около 2-х млн м³ грунта, смене поясного вертикального распределения донных сообществ мозаичным распределением не представляются достаточно обоснованными [5, 6]. Последние данные мониторинговых работ подтверждают продолжающееся до сих пор угнетение донных организмов в зал. Анива. Так, например, современное состояние ресурсов приморского гребешка в зал. Анива можно обозначить одним словом — деградация [7]. Общая биомасса гребешка в заливе в настоящее время находится на уровне исторического минимума. С 2006 г. его численность сократилась более чем в два с половиной раза.

Матричная математическая модель эколого-планировочного решения, позволяющая ее авторам утверждать об экологической допустимости выбора места размещения СПГ-Владивосток, также не учитывает особенности пород, слагающих

подводный береговой склон, и последствия динамики огромных объемов наносов алеврито-пелитовых фракций, которые будут сформированы в результате дноуглубления и дампинга грунта [8].

Исследования, проведенные нами на полуострове Ломоносова в районе бухты Перевозной Хасанского района Приморского края, где планируется строительство завода СПГ, показали, что залив Петра Великого обязательно столкнется с подобным воздействием. На береговом склоне, где планируются строительство отгрузочного терминала и дноуглубительные работы, нами были обнаружены глины, легко размокаемые в морской воде (рис. 2).

Таким образом, очевидно, что масштабные дноуглубительные работы определяют основные экологические риски при строительстве заводов СПГ на побережье. В некоторых случаях даже делаются попытки уменьшить эти риски. Так,



Рис. 2. Глинистый бенч с 30 см пластом каменного угля. Валунная отмостка сформирована при размыве оползневых отложений в волноприбойной зоне (фото автора)



Рис. 3. Отмель Флора (Flora bank) во время прилива. На переднем плане о. Китсон Айлет, на заднем плане о. Лилу (фото автора)

например, положение морского терминала отгрузки завода СПГ Pacific Northwest в устье р. Скины (Британская Колумбия) пересматривалось несколько раз, главным образом, с целью уменьшения объема дноуглубительных работ. В самом последнем варианте дноуглубление с выемкой 790 000 м³ грунта будет выполняться на площади около 54 000 м². Авторы проекта утверждают о минимальных воздействиях и рисках для окружающей среды и биоты эстуарной зоны р. Скина. Увы, также как и в первых двух случаях только на основе результатов численного моделирования [10]. А в качестве подтверждения низкого уровня энергетических параметров береговой зоны приводится наблюдаемая стабильность отмели Флора (Flora bank) (рис. 3).

К сожалению, не все так просто. Литодинамический анализ донных осадков свидетельствует о высокой уязвимости данной береговой морфолитосистемы к любым воздействиям. Уникальный тип осадка, более грубый и лучше отсортированный, чем любые другие наносы, найденные в регионе, предполагает, что процессы, действующие на берег, весьма специфичны и препятствуют осаждению более мелких и плохо сортированных осадков, которые бы здесь наблюдались в случае низкой энергетики береговой зоны [11].

Исследования, проведенные нами в проливе Невельского (Сахалин—Материк), показали, что вдольбереговые перемещения наносов в проливной системе в 10—20 раз превышают расчетные значения переноса осадков по различным методикам. Подсчет объема наносов в аккумулятивной форме заполнения входящего угла после строительства дамбы в 1952 г. дал среднесуточную скорость накопления наносов в 1,5 млн м³ в год, что на порядок выше максимальных расчетных значений [12]. Следует отметить, что в проекте

Pacific Northwest вообще не рассматриваются возможные изменения литодинамической ситуации в результате перестройки донного рельефа, прибрежной циркуляции и дополнительных объемов твердого стока с нарушенными наземным трубопроводом участков. Что весьма неадекватно в условиях шестиметровых приливов и соответствующих скоростей течений. Кроме того, в районе острова Китсон (Kitson Island) в береговом уступе нами были обнаружены легко разрушаемые в морской воде алевролиты. Можно предположить возможность их нахождения и в зоне дноуглубления.

Иного свойства ситуация с проектом завода СПГ в районе полуострова Клыквова (Де-Кастри). В береговом уступе сопредельного участка, на площадке нефтеотгрузочного терминала Де-Кастри трубопроводной системы Сахалин-материк ранее нами были обнаружены водопроявления, свидетельствующие о глубинной суффозии по вулканическим туфам с образованием неоднородностей плотности и пустот [13]. Кроме того, в 2-х наблюдательных скважинах на территории терминала отмечалось изменение состава подземных вод в рамках приливо-отливных циклов. Глубинная суффозия относится к категории опасных геологических процессов, приводящих к ослаблению пород в основании сооружений и коммуникаций. Район находится в девятибалльной сейсмоактивной зоне и при сейсмособытиях нагрузки на грунты вырастают на порядки. Учитывая, что на территории терминала может одновременно находиться около двухсот тысяч тонн нефти, примерно столько же, сколько в печально известном танкере Exxon Valdez, последствия для биоты Татарского пролива и сопредельных акваторий в случае аварии могут быть катастрофическими. Исходя из вышеуказанных соображений, нами был

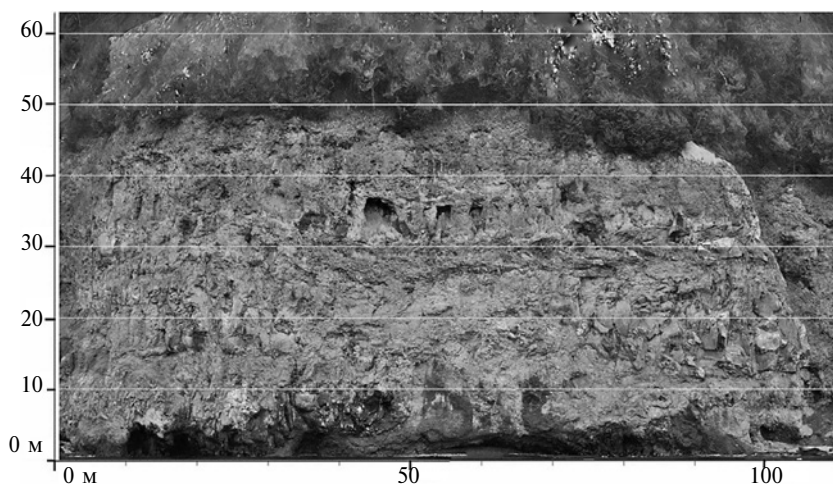


Рис. 4. Ортофотоплан берегового уступа м. Алексева зал. Де-Кастри

исследован береговой уступ, ограничивающий с юга и востока площадку планируемого строительства завода СПГ и прилегающие территории.

Современный геолого-геоморфологический облик участка определен формированием в миоцене серий эффузивных образований и последующей их экзогенной переработкой. За последние 6 тыс. лет в результате разрушения берегового уступа высотой до 160 м сформировался бенч шириной до 100 м.

Выявление водопроявлений по туфам, контактам и дизъюнктивам, являющихся индикаторами возможной суффозии по этим зонам, включало изучение гидрогеологических характеристик вмещающих пород, составление 3D-моделей и ортофотопланов берегового уступа с фиксацией и определением параметров выходов подземных вод. Подземные воды, по типу фильтрационной среды являются пластово-трещинными в верхней, наиболее трещиноватой зоне и трещинно-жильными в зонах тектонических нарушений. Обе вышеописанных водоносных толщи на данной территории имеют тесную гидравлическую взаимосвязь и характеризуются общей урвеной поверхностью. Анализ уровней подземных вод показал две значимых аномалии распределения, но в целом, глубина залегания уровня уменьшается в соответствии с понижением рельефа, а максимальный градиент наблюдается по мере приближения к береговому уступу.

Ортофотопланы берегового уступа строились в ПО Agisoft Photoscan посредством проецирования набора наземных фотоснимков, выполненных при помощи камеры SONY NEX, на вертикальные плоскости, расположенные параллельно уступу. Для получения корректной ортофотопроекции проводилась фотограмметрическая реконструкция 3D-модели уступа. Среднее разрешение

фотоснимков 2,64 см/пикс. Начальная калибровка камеры проводилась встроенными средствами ПО Agisoft Lens. Затем проводилась увязка фотоснимков и вычисление координат центров фотографирования посредством построения разреженного облака. Всего рассчитано 5 млн связующих точек. Модель искажений объектива уточнялась по распознанным связующим точкам, которые были зарегистрированы не менее чем на 3 снимках. Затем строилось плотное облако точек, всего 62 млн точек. Из плотного облака точек была сформирована полигональная модель, которая использовалась для получения ортофотопланов. Модель привязывалась к местности посредством расположенных на уступе 18 маркеров, для которых были определены координаты и высота. Разрешение проекции составило 5 см/пиксель. Суммарная длина изученного берегового уступа превысила 5000 м.

Непосредственно в пределах площадки намечаемой деятельности в результате анализа моделей и ортофотопланов обнаружено 7 водопроявлений в виде увлажненных пятен размером в несколько метров. За пределами площадки намечаемой деятельности в период наблюдений разгрузка подземных вод осуществлялась как по контактно трещинным зонам, так и по туфам. Установлено более 30 зон с водопроявлениями по всей высоте берегового уступа. Следует отметить, что подножия берегового уступа сток в период полевых наблюдений не достигал и при полевом обследовании водопроявления не были установлены.

Выполненные работы позволили достаточно полно представить геологическое строение берегового уступа и соответственно площадки намечаемого завода СПГ. Переслаивающиеся туфы и андезито-базальты, наблюдаемые в разрезе бере-

гового уступа, имеют мощность 2—12 м и субгоризонтальное залегание с незначительным падением в сторону моря. На рис. 4 в слое туфов (интервал высот 30—40 м) отчетливо видны эрозионные гроты, образованные выходами подземных вод.

Кроме того, были определены морфометрические параметры берегового уступа и коллювиально-пролювиальных конусов и дерупция у подножия. Определение возраста обвально-осыпных форм на основе анализа материалов дистанционного зондирования и характера растительности позволили оценить осредненные скорости разрушения берегового уступа, которые могут достигать 7 м в год. Следует отметить, что полученные скорости разрушения берега установлены на участках выхода в зону приобья берегового уступа с легко разрушаемыми геологическими комплексами, либо дезинтегрированными комплексами горных пород дизъюнктивных зон.

Заключение

Таким образом, очевидно, что основные экологические риски при строительстве заводов СПГ на побережье определяют масштабные дноуглубительные работы. Анализ перестроек прибрежно-морских экосистем при изменениях условий водообмена и осадконакопления заслуживает более серьезных подходов при оценке воздействия проектов на окружающую среду.

При планировании деятельности на побережье холодных морей следует обратить самое пристальное внимание на специфику абразионно-аккумулятивных береговых процессов субарктического и арктического типа. Перспективы в этом направлении открывают выявленные де-

формации подводного рельефа под припайными льдами и увеличение крутизны верхней части берегового профиля при формировании наледи, а также установленный нами факт существенного ухудшения волногасящих свойств пляжевых отложений при их промерзании.

Опыт оценки инженерно-геологической безопасности объектов инфраструктуры заводов СПГ в сложных условиях побережья с вулканогенно-осадочными комплексами горных пород показал.

1. Инженерно-геологическое бурение до коренных пород в случае переслаивания монолитных андезито-базальтов и «слабых» туфов не имеет смысла, так как мощность «коренного основания», достигнутого после проходки склоновых отложений и элювия, может достигать всего 1—2 м.

2. Подповерхностная суффозия по туфам и их контактам существенно ослабляет прочностные характеристики вулканогенно-осадочного горного массива. В качестве экспресс-индикатора этих опасных геологических явлений может служить наличие выходов подземных вод с высокой степенью минерализации. В случае Де-Кастри минерализация водопроявлений была в 2—4 раза выше минерализации воды в устье рек.

3. Скорости отступления сложнопостроенного берегового уступа нельзя оценивать по реперам в базальных коренных породах, так как разрушение идет именно по ослабленным зонам, а также при обрушении крупных блоков горных пород из-за формирования волноприбойных ниш в быстроразрушаемых туфах. Отступление бровки берегового уступа, выработанного в вулканогенно-осадочных породах, в этих условиях может достигать нескольких метров в год.

Библиографический список

1. Звуйковский Н. Сдержанный оптимизм. Обзор российских СПГ-проектов // Oil & Gas Journal Russia. 2016. № 3 (102). С. 50—54.
2. Afanasiev V. V., Ignatov E. I. Geomorphological aspects of coast protection in high latitudes // Геосистемы переходных зон. 2018. № 2. С. 116—124.
3. Афанасьев В. В., Игнатов Е. И. Геоэкология береговой зоны острова Сахалин // Проблемы региональной экологии. 2009. № 6. С. 275—280.
4. Шевченко Г. В., Частиков В. Н., Кириллов К. В., Кусайло О. В. Экспериментальные исследования течений в заливе Анива в 2003 г. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9. № 4. С. 35—46.
5. Samatov A., Labay V. Benthos community of a dumping area during liquid natural gas plant constructions: Effect of technical impacts or natural changes? // PICES Sci. Rep. 2009. N. 36. P. 257—261.
6. Лабай В. С., Кочнев Ю. Р. Долговременные изменения сообщества *Nuculana pernula* как индикатор глобальных изменений бентоса сублиторали в нижнебореальной части Охотского моря // Труды СахНИРО. 2008. Т. 10. С. 173—182.
7. Результаты работы ФГБНУ «СахНИРО» по отработке методов искусственного воспроизводства приморского гребешка в зал. Анива в 2015 г. <http://www.sakhniro.ru/news/469/> (дата обращения 15.06.2018).
8. Щека О. О., Автомонов Е. Г., Никитина А. В. Анализ условий размещения объекта «СПГ-Владивосток» на основе матричной математической модели // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № . S4-2. С. 9—15.
9. Проект Владивосток — СПГ. <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/lng/vladivostok-lng> (дата обращения 10.08.2016).
10. Pacific NorthWest LNG Project Environmental Assessment Report September 2016 — Ottawa: Canadian Environmental Assessment Agency, 2016. 326 p.

11. McLaren P. The environmental implications of sediment transport in the waters of Prince Rupert, British Columbia, Canada: a comparison between kinematic and dynamic approaches // *Journal of Coastal Research*. 2016. Т. 32. № 3. P. 465—482.
12. 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.
13. Афанасьев В. В. Проблемы берегопользования субарктических морей (на примере о. Сахалин) // *Современные проблемы использования потенциала морских акваторий и прибрежных зон*. 2015. С. 118—130.

GEOMORPHOLOGICAL ASPECTS OF THE ISSUE OF SELECTING SITES FOR THE CONSTRUCTION OF LNG PLANTS ALONG THE COASTLINES OF THE FAR EASTERN SEAS

V. V. Afanasiev, Ph. D. (Geomorphology), Head of the Laboratory of Coastal Ecosystems, Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, vvasand@mail.ru, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

References

1. Zvujkovskij N. Sderzhannyj optimizm. Obzor rossijskih SPG-proektov [Restrained optimism. Overview of Russian LNG projects]. *Oil & Gas Journal Russia*, 2016. No. 3 (102). P. 50—54. [in Russian].
2. Afanasiev V. V., Ignatov E. I. Geomorphological aspects of coast protection in high latitudes. *Geosystems of transition zones*, 2018. No. 2. P. 116—124.
3. Afanasiev V. V., Ignatov E. I. Geoekologiya beregovoj zony ostrova Sahalin [Geoecology of the coastal zone of Sakhalin Island]. *Regional environmental Issues*, 2009. No. 6. P. 275—280. [in Russian].
4. Shevchenko G. V., Chastikov V. N., Kirillov K. V., Kusaylo O. V. Zksperimentalnye issledovaniya techenij v zalive Aniva v 2003 [Experimental studies of the currents in the Aniva Bay in 2003]. *Fundamental and applied hydrophysics*, 2016. Vol. 9, No. 4, P. 35—46. [in Russian].
5. Samatov A., Labay V. Benthos community of a dumping area during liquid natural gas plant constructions: Effect of technical impacts or natural changes? *PICES Sci. Rep.* 2009. No. 36. P. 257—261.
6. Labay V. S., Kochnev Yu. R. Dolgovremennye izmeneniya soobshestva Nuculana pernula kak indikator globalnyh izmenenij bentosa sublitorali v nizhnoborealnoj chasti Ohotskogo moray [Long-term changes in the Nuculana pernula community as an indicator of global changes in the benthos of the sublittoral in the Lower Boreal Sea of the Sea of Okhotsk]. *Proceedings of SakhNIRO*, 2008. Vol. 10. P. 173—182. [in Russian].
7. Rezultaty raboty FGBNU “SakhNIRO” po otrabotke metodov iskusstvennogo vosproizvodstva primorskogo grebeshka v zal. Aniva v 2015 [Results of the work of SGBIRU “SakhNIRO” on the development of methods of artificial reproduction of the seaside scallop in the Aniva Bay in 2015], available at: <http://www.sakhniro.ru/news/469/>, date of access 15.06.2018. [in Russian].
8. Sheka O. O., Avtomonov E. G., Nikitina A. V. Analiz uslovij razmesheniya objekta “SPG-Vladivostok” na osnove matrichnoj matematicheskoj modeli [Analysis of the conditions for the location of the object “SPG-Vladivostok” on the basis of the matrix mathematical model]. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2014. No. S4-2. P. 9—15 [in Russian].
9. Proekt Vladivostok — SPG. [The Vladivostok-LNG project.], available at: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/lng/vladivostok-lng>, date of access 10.08.2016. [in Russian].
10. Pacific NorthWest LNG Project Environmental Assessment. *Report September 2016*. Ottawa: Canadian Environmental Assessment Agency, 2016. 326 p.
11. McLaren P. The environmental implications of sediment transport in the waters of Prince Rupert, British Columbia, Canada: a comparison between kinematic and dynamic approaches. *Journal of Coastal Research*. 2016. Vol. 32. No. 3. P. 465—482.
12. Afanasiev V. V., Ignatov E. I., Chistov S. V. Morfologiya i dinamika beregov i dna proliva Nevelskogo, rajona proektirovaniya postoyannogo zheleznodorozhnogo perehoda [Morphology and dynamics of the banks and the bottom of the Nevelskoy Strait — a region for designing a permanent railway crossing]. Smolensk, Madzhenta, 2008. 128 p. [in Russian].
13. Afanasev V. V. Issues of the coastal use of the subarctic seas: a case of Sakhalin Island). *Sovremennye problemy ispolzovaniya potenciala morskikh akvatorij i pribrezhnyh zon* [Current issues of using the potential of marine areas and coastal zones]. 2015. P. 118—130. [in Russian].