МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И ТЕХНОЛОГИИ
METHODS, MODELS AND TECHNOLOGIES

Научная статья / Scientific paper

УДК 634.131.7

DOI: 10.34753/HS.2026.8.2.187

Уникальный и малоизвестный подвид техногенного псевдокарста

А. А. Лаврусевич[1,2], С. В. Шендяпина[3], И. А. Лаврусевич[3], О. Е. Вязкова[1], Л. Н. Трофимец[4], А. И. Абенэ[5], А.Ю. Виноградов[6]

[1]Российский государственный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

[2] Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, федеральный центр науки и высоких технологий, г. Москва, Россия; [3]Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия; [4]Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орел, Россия; [5]ООО Издательский центр «Академия», г. Москва, Россия; [6] ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай, Россия

e-mail: lavrusevich@yandex.ru

Аннотация. В статье приводятся данные о сложном физико-химическом процессе, проявлением которого являются псевдокарстовые формы рельефа. На рассматриваемом объекте псевдокарст проявляется в виде провалов из-за перегруженных сводов техногенных пустот. Приведена классификация подвидов техногенного псевдокарста. Описанные в литературе примеры иллюстрируют формирование карстоподобных ландшафтов на той или иной территории под действием природных процессов при тесном взаимодействии с шахтами, тоннелями, карьерами и другими формами подземной экскавации горных пород. Это, так называемые, подработанные (природно-техногенные территории или системы). Развитие этого процесса, в рассматриваемом случае, также непосредственно связано с техногенезом. Описан уникальный и малоизвестный пример техногенного псевдокарста, связанного с оригинальной и весьма своеобразной формой утилизации подводных лодок. Подводные лодки проекта 611 выпущены в конце 1950-х годов, спущены на воду и затем введены в строй в составе вооруженных сил страны. В 1970-х годах выведены из эксплуатации для последующей утилизации. Однако, «жизнь» данной подводной лодки была продлена в результате использования ее в качестве заполнителя бетонной стены причала (пирса). Показано, что в суровых и холодных природных условиях Заполярья коррозия «съедает» даже высоколегированную сталь корпуса подводных лодок за десятилетия. Необычная форма утилизации подводной лодки (район мыса Зеленый, Нижне-Ростинское шоссе город Мурманск), привела к формированию весьма необычного подвида техногенного псевдокарста, оказывающего негативное влияние на устойчивость бетонированного уступа причала (пирса) Кольского залива. Фиксируемые провалы поверхности и локальные деформации плит перекрытия свидетельствуют о начальной стадии развития процесса разрушения природно-технической системы. Незнание особенностей механизма и скорости развития данного подвида техногенного псевдокарста, может инициировать дальнейшее развитие провалов и неожиданные социальный и экономический риски.

Ключевые слова: техногенный псевдокарст; подвид; Заполярье; подводная лодка; провалы; причал (пирс).

Для цитирования: Лаврусевич А. А., Шендяпина С. В., Лаврусевич И. А., Вязкова О. Е., Трофимец Л. Н., Абенэ А. И., Виноградов А. Ю. Уникальный и малоизвестный подвид техногенного псевдокарста // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2026. Т. 8. Вып. 2. С. 187–197. DOI: 10.34753/HS.2026.8.2.187.

A Unique and Obscure Subtype of Technogenic Pseudokarst

Andrey A. Lavrusevich[1,2], Svetlana V. Shendyapina[3], Ivan A. Lavrusevich[3], Olga E. Vyazkova[1], Lyubov N. Trofimetz[4], Alisa I. Abene[5], Alexey Yu. Vinogradov[6]

[1]Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia; [2]All-Russian Scientific Research Institute of Civil Defense and Emergencies of the Russian Ministry for Emergencies, Moscow, Russia; [3]Moscow State Construction University, Moscow, Russia; [4]Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia; [5]Publishing Center «Akademia» LLC, Moscow, Russia; [6]Scientific and Industrial Research Association "Gidrotehproekt", Valday, Russia

e-mail: lavrusevich@yandex.ru

Abstract. The article presents data on a complex physicochemical process manifested as pseudokarst landforms. At the site under consideration, pseudokarst is expressed by collapses resulting from overloaded roofs of technogenic voids. A classification of subtypes of anthropogenic (technogenic) pseudokarst is provided. Examples described in the scientific literature illustrate the formation of karst-like landscapes in various territories due to natural processes acting in close interaction with mines, tunnels, open pits, and other forms of subsurface rock excavation. These are referred to as "undermined" areas – natural-anthropogenic territories or systems. The development of this process in the case studied is also directly related to anthropogenesis (technogenesis). A unique and obscure example of technogenic pseudokarst associated with an original and highly specific method of submarine disposal is described. Project 611 (Zulu-class) submarines were produced in the late 1950s, launched, and subsequently commissioned into the country's armed forces. In the 1970s, they were decommissioned for subsequent scrapping. However, the operational life of this particular submarine was extended through its use as filler material within a concrete pier wall (jetty abutment). It is demonstrated that even high-alloy steel hulls of submarines undergo severe corrosion over several decades under harsh Arctic conditions. This unconventional form of submarine utilization (Cape Zeleny area, Nizhne-Rostinskoye Highway, Murmansk city) led to the formation of a highly unusual subtype of technogenic pseudokarst, which exerts a negative impact on the stability of the concreted bench of the Kola Bay pier. Recorded surface subsidences and local deformations of deck slabs indicate the initial stage of degradation of the geotechnical system. The lack of knowledge regarding the mechanism and rate of development of this specific subtype of technogenic pseudokarst may trigger further collapse propagation and pose unexpected social and economic risks.

Keywords: technogenic pseudokarst; subtype; High North (Zapolyarye); submarine; sinkholes; berth (pier).

For citation: Lavrusevich A. A., Shendyapina S. V., Lavrusevich I. A., Vyazkova O. E., Trofimetz L. N., Abene A. I., Vinogradov A. Yu. A Unique and Obscure Subtype of Technogenic Pseudokarst. Hydrosphere. Hazard processes and phenomena, 2026, vol. 8, iss. 2, pp. 187–197. DOI: 10.34753/HS. 2026.8.2.187. (In Russian; abstract in English).

Введение

Псевдокарст (ложный карст) – западинно-впадинный рельеф, образованный понижениями разного размера, внешне напоминающий карст, но возникший в результате иных процессов [1]. Более ста лет шла дискуссия о содержании понятия «псевдокарст». Изучению «карстоподобных» форм рельефа, образованных в результате иных процессов, посвящены многочисленные публикации отечественных и зарубежных авторов. Основное отличие псевдокарста от карстового процесса – отсутствие растворимых пород, состоящих из неустойчивых к воде минералов классов карбонатов, сульфатов и галоидов, хотя основные формы рельефа как подземные, так и поверхностные, одинаковы. В литературе отмечены случаи техногенного псевдокарста в карбонатных породах [2]. Очевидно, в этом случае можно применить термин «карст на подработанных территориях»[1]. Классификация видов псевдокарста представлена в работе [3, 4, 5 и др.]. В таблице 1, под номером 7 представлен Техногенный псевдокарст – technogenic pseudokarst. Остановимся на этом виде псевдокарста подробнее.

[1] СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Часть 1. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях

Таблица 1. Выделенные подвиды техногенного псевдокарста
Table 1. Distinguished subtypes of technogenic pseudokarst

Подвиды техногенного псевдокарста	1	Деформации поверхности (провалы, оседания, деформации сооружений) на подработанных территориях над горными выработками
	2	Деформации поверхности (провалы, оседания, деформации сооружений) над выгоревшими шахтными выработками горных пород
	3	Провалы в искусственных емкостях (полостях), в том числе в конструктивных элементах подводных лодок, используемых в строительных целях
	4	Провалы и деформации поверхности на застроенных территориях (объекты исторической застройки, подвалы, погреба, склепы, тайники, галереи и пр.)
	5	Провалы и деформации поверхности на участках захоронения бытовых отходов (неравномерное гниение органики, с последующим формированием ослабленных зон и полостей).
	6	Провалы и деформации поверхности в местах захоронения промышленных и ТБО в многолетнемерзлых породах за счет деградации мерзлоты
	7	Деформации (провалы) поверхности прибрежной зоны морей и водохранилищ в результате совокупного (комплексного) воздействия процессов абразии, суффозии и подземной эрозии

Материалы и методы

Внезапное обрушение перегруженных сводов техногенных пустот – особый вид псевдокарстовой опасности. В классификации видов псевдокарста он назван техногенным. Иштван Эстерхас разработал «концепцию техногенного псевдокарста» [6]. Суть концепции заключается в следующем: карстоподобные ландшафты формируются на той или иной территории под действием природных процессов при тесном взаимодействии с шахтами, тоннелями, подземными карьерами и другими формами подземной экскавации горных пород, это так называемые, подработанные природно-техногенные территории (системы). Эти формы имеют следующие характерные именно для них особенности, которые проявляются на поверхности земли, как правило, в виде прямолинейных провалов и оседаний, хотя встречаются и изометрические формы, которые обычно отражают серьезные проблемы, которые возникают под поверхностью земли. Некоторые районы до такой степени осложнены данными формами рельефа: провалы, оседания, воронки, трещины, пещеры и т.д., что превращаются в техногенный бедленд. Это территория, ограниченная со всех сторон многочисленными трещинами, пещерами и провалами. И. С. Степанов описывает техногенный псевдокарст в Кизиловском угольном бассейне, который приурочен к провалам над угольными шахтами. Встречаются псевдокарстовые формы, формирование которых обусловлено подземным горением в угольных пластах. В результате на поверхности образуются провальные полосы протяженностью почти до 800 и шириной до 300 м [7]. Е. Ф. Станкевич описывает псевдокарст и техногенные провалы в Казани, которые возникают над искусственными пустотами – старыми подвалами, погребами, подземными ходами, убежищами и др. [8]. Р. Х. Халимов описывает техногенный псевдокарст в лессовых породах, который достаточно широко распространен в Узбекистане [9]. Авторы наблюдали многочисленные техногенные псевдокарстовые формы рельефа в Китае (провинции Шанси и Шенси), когда первоначальное развитие и последующая активизация лессового псевдокарста вызваны большим количеством брошенных рукотворных пещер. Их создание первоначально нарушило единство лессового массива, а уничтожение дернового покрова и последующий «уход» Человека с этого массива, приводит к обветшанию (деградации) пещер, нарушению созданного человеком зарегулированного стока, и началу развития псевдокарста, который, встречая в массиве техногенные полости длиной до 60 м – многократно увеличивается. Авторы неоднократно наблюдали в Китае разрушение

псевдокарстом (придолинный тип), вызванным техногенезом, массивов лесса площадью до нескольких десятков гектаров [4]. Исследуя техногенный псевдокарст, появляется необходимость введения классификации его подвидов, которая приведена в таблице. Безусловно, мы не претендуем на всеохватывающую классификацию, но, это стремление авторов систематизировать подвиды именно техногенного псевдокарста по генезису механизма образования (формирования) пустот и ослабленных зон, над которыми впоследствии формируются деформации (см. таблицу).

Как видно из приведенной выше таблицы, псевдокарстовые формы рельефа образуются не одним, а целым комплексом (парагенезисом) различных процессов, в результате которых формируются сначала подземные, а затем и поверхностные формы рельефа. Из-за различных процессов, проходящих в горных породах различной литологии, и искусственных материалов (металл, пластик, органика, техногенный грунт и др.) образуются промежуточные или образованные комплексом процессов псевдокарстовые формы рельефа. Кроме того, карстоподобные полости, провалы и понижения также формируются в плохо растворимых породах. Например, уникальные псевдокарстовые пещеры среди гранитных валунов на Сейшельских островах сформированные за счет выветривания, эрозии и абразии.

Обсуждение результатов

Авторы, изучая псевдокарстовые явления на протяжении последних десятилетий, столкнулись с уникальным и малоизвестным подвидом техногенного псевдокарста. Мыс Зелёный в Мурманске известен тем, что он фактически находится у подножия сопки со знаменитым мемориалом защитникам Заполярья, недалеко памятник «Ждущая» – женщине, ждущей своего моряка, и тем, что на нём находится судоразделочная база, а также замурованной в причал подводной лодкой проекта 611 (рисунки 1 и 2). Разделка судов сегодня не ведется с той интенсивностью, как раньше, а часть базы теперь занимает причал, который построили для сброса снега, с которого местные жители и туристы любят ловить рыбу. Место тихое и привлекает любителей отдохнуть, посмотреть на проходящие корабли и подышать свежим морским воздухом.

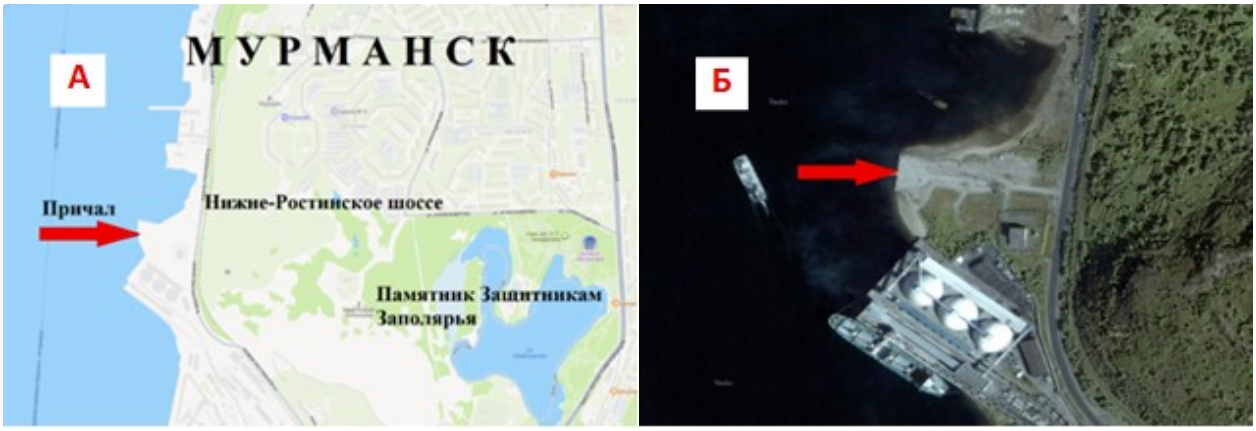
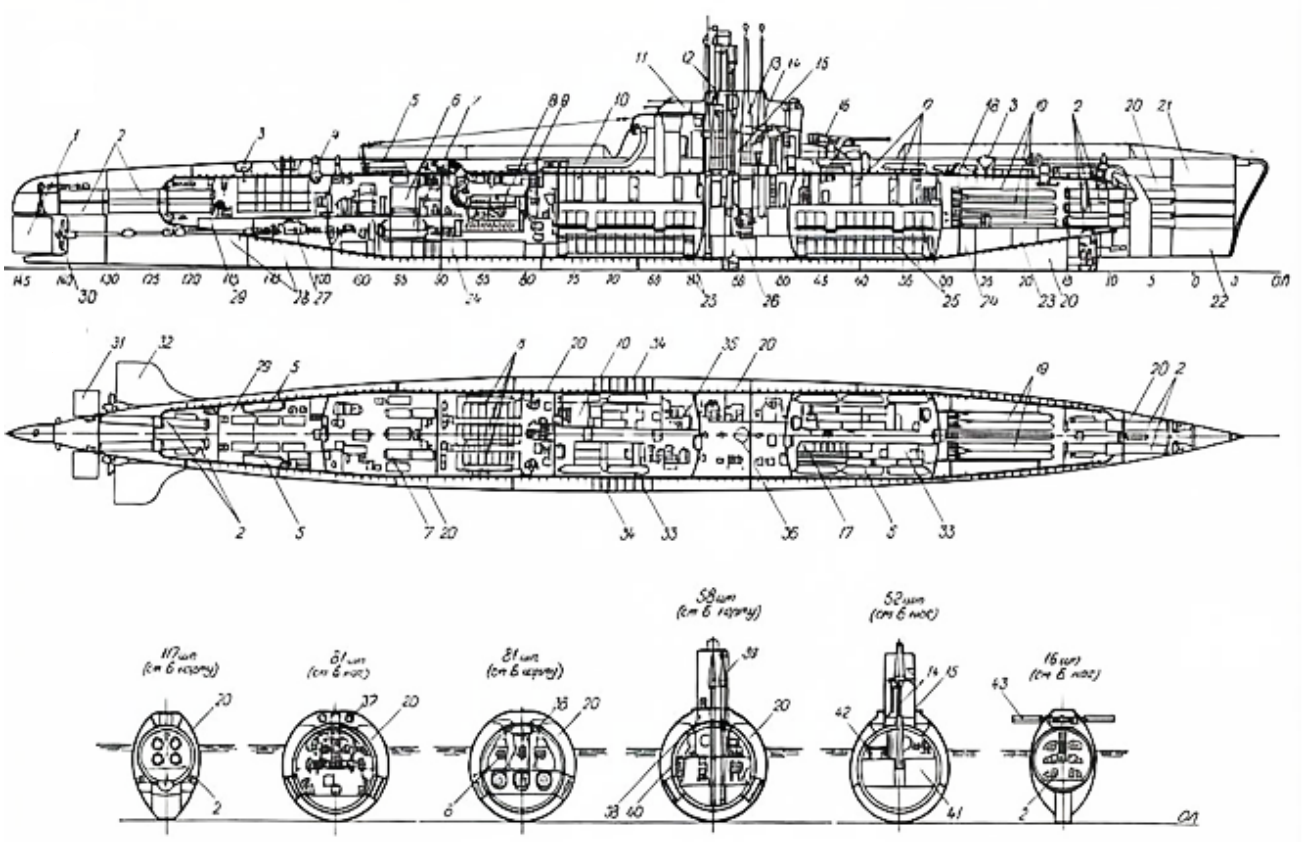


Рисунок 1. Схемы (А, Б) расположения объекта. Стрелками показан причал (пирс), в котором находится подводная лодка

Figure 1. Schematic diagrams (A, B) of the facility location. The berth (pier) housing the submarine is indicated by arrows



1 – перо руля; 2 – торпедный аппарат; 3 – телефонный буй аварийной связи; 4 – входной люк с тубусом; 5 – баллоны воздуха высокого давления (ВВД); 6 – щит управления гребными электродвигателями; 7 – гребной электродвигатель; 8 – двигатель 37Д; 9 – наружный клапан шахты подачи воздуха к дизелям; 10 – камбуз; 11 – артиллерийская установка 2М-8 (25 мм); 12 – устройство РДП; 13 – перископ атаки; 14 – зенитный перископ; 15 – прочная рубка; 16 – артиллерийская установка СМ-24-ЗИФ (57 мм); 17 – офицерское помещение; 18 – торпедно-погрузочный люк; 19 – запасные торпеды; 20 – цистерна главного балласта; 21 – цистерна плавучести; 22 – приемник шумопеленгатора; 23 – носовая дифферентная цистерна; 24 – топливная цистерна внутри прочного корпуса; 25 – аккумуляторная батарея; 26 – цистерна быстрого погружения; 27 – электродвигатель экономического хода; 28 – междубортная топливная цистерна; 29 – кормовая дифферентная цистерна; 30 – гребной винт; 31 – кормовой горизонтальный руль; 32 – стабилизатор; 33 – помещение команды; 34 – уравнительная цистерна; 35 – рубка радиосвязи; 36 – центральный пост; 37 – трубопровод подачи воздуха к дизелям; 38 – трубопровод РДП; 39 – антенна активной радиолокационной связи; 40 – прибор управления торпедной стрельбой; 41 – артиллерийский погреб; 42 – рубка штурмана; 43 – носовые горизонтальные рули

Рисунок 2. Продольный разрез план и сечение подводной лодки проекта 611[2]
Figure 2. Longitudinal section, plan view, and cross-section of the Project 611 submarine[2]

Однако, кажущаяся идиллия, весьма обманчива. Причал представляет собой ряд «составленных» параллельно берегу фрагментов подводных лодок и кораблей, забутованных техногенным песчано-гравийным грунтом и перекрытых плитами (рисунок 3). Последняя к заливу, это ПЛ Б-73 (подводная лодка) проекта 611, основная часть которой замурована в бетон и является фундаментом и удерживающей причальную стенку бетонной набережной, крайней к Кольскому заливу.

[2] Энциклопедия отечественного подводного флота – https://deepstorm.ru/ DeepStorm. files/45-92/dts/611 /list.htm?ysclid= mlrzgbzkxe 4426 78485

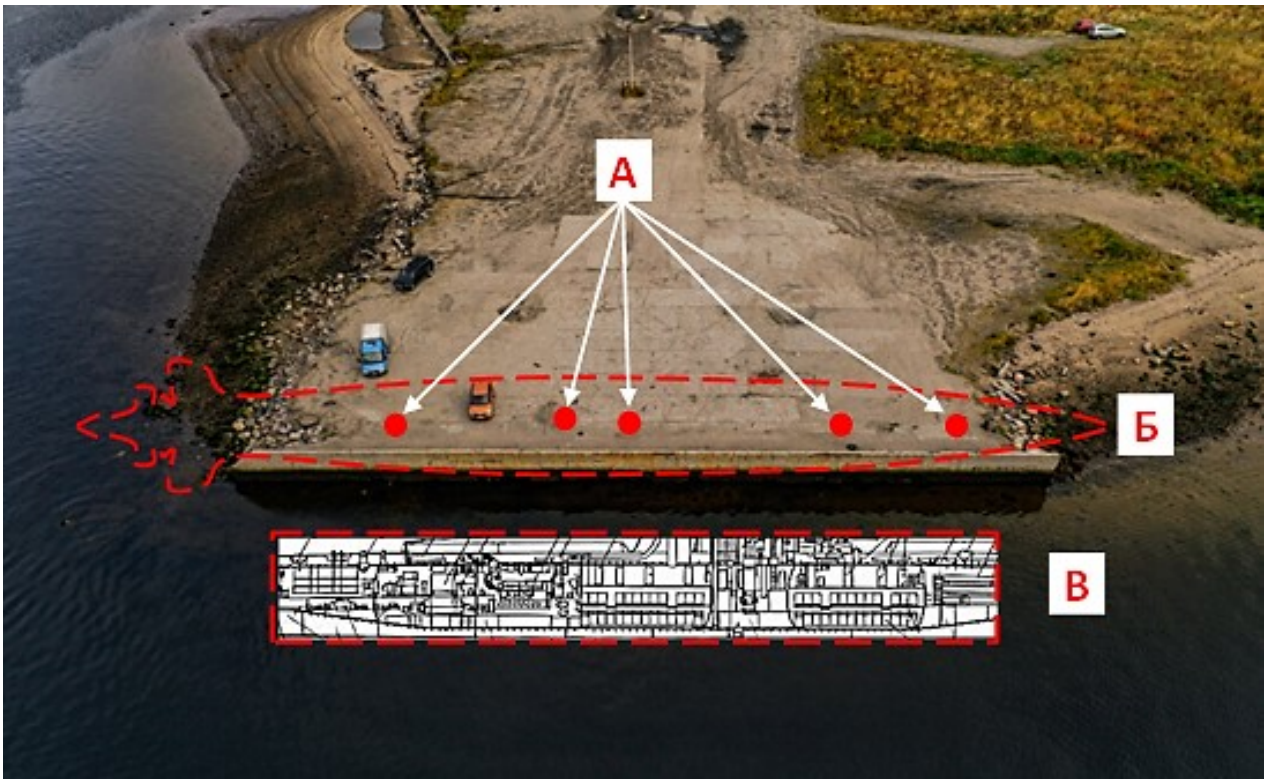


Рисунок 3. Вид на причал (пирс) сверху[3]:А – псевдокарстовые провалы (подземные полости), Б – контур подводной лодки проекта 611 (вид сверху, см. рисунок 2), В – контур подводной лодки проекта 611 (вид сбоку, см. рисунок 2)

Figure 3. Top-down view of the berth (pier)[3]: А – pseudokarst sinkholes, Б – plan view outline of the Project 611 submarine (see Figure 2), В – side profile of the Project 611 submarine (see Figure 2)

Стенка бетонного причала высотой 4 м и протяженностью более 70 м. Толщина ростверка 0,4 м. При отливах, в основании бетонной стены причала обнажаются входы в корпус залитой бетоном подводной лодки (рисунки 4 и 5).

В данном случае, мы имеем техногенную полость (отсеки подводной лодки), которые перекрыты маломощным слоем песчано-гравийной смеси и ж/б плитами. Однако, это не предотвращает коррозию высоколегированной стали подводной лодки, а наоборот способствует ее более активному разрушению.

Цилиндрический сварной корпус подводной лодки проекта 611 длиной 67,5 м выполнен из 18–22-мм стали, с необычным – наружным расположением шпангоутов, что позволило значительно увеличить объем внутренних помещений. Легкий наружный корпус идеально обтекаем, толщиной 3 мм, а у ватерлинии толщину довели до 8 мм в расчете на плавание во льдах. Лодка была построена и спущена на воду в 1957 г., после чего введена в строй. В конце 70-х годах XX века лодку списали и после этого должны были произвести демонтаж оборудования и утилизировать. Однако, лодка до сих пор «жива» и представляет собой уникальный объект для изучения коррозии металлов и общей деградации сооружения причала (пирса).

Разрушение металлической оболочки лодки и барьеров обусловлены коррозией, характер и скорость которой зависят от целого комплекса внутренних и внешних факторов. К определяющим внешним факторам, влияющим на коррозию, относят прежде всего климатические условия, минеральный состав морской воды, ее температуру, содержание

[3] Невероятная находка в Мурманске. Попали внутрь подводной лодки, забетонированной в пирс – https://dzen.ru/a/YT-svnNn50oUc1kO?ysclid=mqgn697h4x767427910

кислорода, биологическое воздействие (обрастание раковинами, водорослями и пр.), заиливание. К внутренним факторам, относятся: состав и структура металла, состояние поверхностей, наличие напряжений, деформаций, качество сварки и т.д. [10].



Рисунок 4. Бетонированная стенка причала[4]
Figure 4. Concrete-faced retaining wall of the berth



Рисунок 5. Внутренняя полость дизельного отсека ПЛ 73 проекта 611[2]
Figure 5. Diesel engine room interior, Project 611 submarine[2]

В Заполярье проблемы с коррозией обусловлены не только непростыми физико-химическими особенностями, но и особой спецификой региона (большие безжизненные и неосвоенные территории и одновременно зоны развитой промышленности с выбросами множества агрессивных химических соединений со всем комплексом экологических проблем и др.)

При низких температурах железо в морской воде разрушается с образованием гидроокиси, которая представляет собой продукт белого цвета с относительно невысокой растворимостью ($1{,}64\times10^{-8}$ г/л). В насыщенной кислородом воде она окисляется и переходит в гидрозакись – продукт оранжевого (бурого) цвета с очень низкой растворимостью ($4{,}8 \times 10^{-8}$ г/л).

[4] https://avatars.mds.yandex.net/get-altay/6264381/2a0000018f6c8b110657e00644d7ee5ff3cb/XXL_height

Гидроокись железа, будучи рыхлой, легко осыпается с вертикальных поверхностей.

В морской воде, где мало кислорода скорость коррозии в два-три раза ниже, чем в воде, насыщенной кислородом. Например, для Атлантического региона с повышенным содержанием кислорода она составляет 80–100 мкм/год, а в Северном Ледовитом океане – 40–50 мкм/год [11]. Внутри сложных технических конструкций в связи с низким водообменом она может быть в 5–10 раз меньше.

Применяя средневзвешенный подход, при котором за начальную скорость коррозии принимали результаты экспериментальных исследований, полученные в Арктическом регионе на глубинах более 400 м, соответствующие для углеродистых сталей 40–50 мкм/год и для нержавеющих сталей не более 2 мкм/год [12].

Например, для атомных объектов, связанных с радиационной реабилитацией на дне Арктического бассейна проведены расчеты коррозии легированных сталей оболочек подводных лодок. Оценка утраты защитных свойств барьеров затопленных объектов с отработавшим ядерным топливом и твердыми радиоактивными отходами, основана на общих методических подходах, изложенных в работах [11, 13, 14, 15].

Оценка представляет собой процедуру последовательных расчетов, учитывающих конкретные внешние условия затопления, конструктивные особенности объектов, гидрофизические характеристики морской среды, глубину погружения объекта, время нахождения объекта на дне и пр. Была разработана методика формализованной процедуры поэтапной оценки степени разрушения определенных защитных барьеров, которые существуют на затопленных ядерных радиационно-опасных объектах. В первую очередь, естественно начинают разрушаться конструктивы, изготовленные из наиболее тонкого металла. Были составлены обобщающие таблицы, где указано, что время разрушения основных защитных барьеров радиационно-опасных объектов морской водой в Карском море – крупногабаритные объекты с толщиной металлической оболочки 5 мм легких корпусов реакторных отсеков атомных подводных лодок, при глубине затопления до 20 м потери до 90 % массы составит 47±15 лет. Крупногабаритные объекты с толщиной металлической оболочки до 27 мм прочного корпуса реакторного отсека, атомной подводной лодки при глубине затопления до 20 м потери до 90 % массы составит 110±30 лет.

Однако, фактически мы фиксируем хорошо сформированные в результате коррозии сквозные (через внешнюю и внутреннюю оболочку подводной лодки) отверстия, проникающие во внутренние полости подводной лодки.

В настоящий момент, на поверхности причала отмечены несколько отверстий диаметром от 0,15 до 0,5 м, которые проходят через внешнюю и внутреннюю оболочки лодки, соединяя внутреннюю полость отсеков лодки с внешней средой. Можно даже наступить на уступ внутренней обшивки (рисунок 6). Формирование на горизонтальной поверхности причала в корпусе лодки подобных отверстий является показателем активного процесса коррозии и потенциальной опасности формирования провала большего диаметра при приложении большей нагрузки, например, наезд автомобиля, (несмотря на то, что поверхность перекрыта ж/б плитами).



Рисунок 6. Зафиксированные провалы на горизонтальной поверхности бетонного причала глубиной 4 м и диаметром до 0,4 м (отмечены красными стрелками)

Figure 6. Sinkholes on the horizontal surface of a concrete pier, with a depth of 4 m and a diameter of up to 0.4 m

Заключение

Использование искусственных полостей при строительстве промышленных, гидротехнических или гражданских сооружений показывает необходимость прогноза их устойчивости к воздействию внешних и внутренних факторов. Оригинальное и весьма необычное использование объема подводных лодок для строительства причала в городе Мурманск показывает, как коррозия в суровых условиях Заполярья, вызывает разрушение оболочки подводной лодки, построенной из высоколегированной стали. При нагрузках, вызванных воздействием более тяжелых механизмов (например, автомобиль) возможно формирование провалов большего диаметра и смещение техники в открывшийся внутренний отсек лодки.

Необходим комплексный подход, основанный на исследовании построенного сооружения как целостной системы, со своей структурой, свойствами, которые возникают в результате синергетического взаимодействия ее компонентов [3]. Именно системный подход, применяя теоретические и эмпирические методы исследований, позволяет комплексно рассмотреть исследуемый объект и сделать заключение о причинах и факторах, способствующих его развитию.

Человечество, вооруженное техникой, провоцирует деградацию естественных ландшафтов. Человек все сильнее преобразовывает верхние горизонты геологической среды, создавая для себя наиболее комфортные условия, внедряя искусственные полости в геологическую среду и одновременно провоцируя развитие и активизацию такого грозного феномена как псевдокарст.

Литература / References

1. Геологический словарь: в 3 т. / гл. ред. О. В. Петров. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. Т. 2: К–П. 476 с.
2. Лаврусевич А. А., Лаврусевич И. А., Алешина Т. С., Аллабергенова Э. М., Кузнецова О. Г. Опасность развития техногенного псевдокарста (на примере участка в юго-западной части Крымского полуострова // Мат. X Междунар. науч.-практич. конф.по проблемам снижения природных опасностей и рисков. Геориск, 2018. С. 329–333.
Lavrusevich A. A., Lavrusevich I. A., Aleshina T. S., Allabergenova E. M., & Kuznetsova O.G. The hazard of technogenic pseudokarst development (on the example of a site in the southwestern part of the Crimean Peninsula). Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference on Natural Hazards and Risk Reduction «GeoRisk-2018», 2018, pp. 329–333. (In Russian; abstract in English).

3. Лаврусевич А. А., Цуцупа Т. А., Салдин В. А., Лаврусевич И. А. Фитогенный псевдокарст и условия его формирования // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 1. С. 39–47. DOI: 10.31857/S0869780921010057
Lavrusevich A. A., Tsutsupa T. A., Saldin V. A., Lavrusevich I. A. Phytogenic pseudokarst and conditions of its formation Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology, 2021, no. 1, pp. 39–47. DOI: 10.31857/S0869780921010057. (In Russian; abstract in English).
4. Лаврусевич А. А., Крашенинников В. С., Лаврусевич И. А. Лёссовый псевдокарст и опыт укрепления лессовых массивов и откосов искусственными посадками некоторых растений (на примере лессового плато КНР, провинции Ганьсу и Шеньси) // Инженерная геология. №1, 2012. С.48–58.
Lavrusevich A. A., Krasheninnikov V. S., Lavrusevich I. A. Loess pseudokarst and experience in stabilizing loess massifs and slopes by artificial planting of certain plants (using the example of the Loess Plateau, Gansu and Shaanxi provinces, PRC). Engineering Geology, 2012, no. 1, pp. 48–58.
5. Halliday W. R. Pseudokarst in the 21 st century. Journal of Cave and Karst Studies, 69, 2007, pp.103–113.
6. Eszterhas I., Sarközi Sz. Introduction / Proceedings of the 6 International Symposium on Pseudokarst, Galyatetö, 1996, pp. 10–15.
7. Степанов И. С. Антропогенный псевдокарств Кизиловском угольном бассейне. В сб. Проблема псевдокарста. Тезис док. Пермь, 1992. С.44–45.
8. Станкевич Е. Ф. Псевдокарст и антропогенные провалы в Казани. / В сб. Проблема псевдокарста. Тезис док. Пермь, 1992. С.42–44.
9. Халимов Р. Х. Псевдокарст лессовых пород бассейна реки Гузардарьи. Псевдокарстовые воронки в лессовых породах Сумсар-Шардагских гор. // Проблема псевдокарста:Тез. Докл. Совещ., Кунгур, 15–16 дек. 1992. Пермь, 1992. С. 35–37.
10. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. Радиоэкологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей / Саркисов А. А., Сивинцев Ю. И., Высоцкий В. Л., Никитин В. С. ; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. М., 2015. 699 с.
11. Морская коррозия: Справочник / Под ред. М. Шумахера. М.: Металлургия, 1983. 237 с.
12. Антипов С. В., Высоцкий В. Л., Сивинцев Ю. В и др. Оценка выхода техногенных радионуклидов в морскую воду из затопленных ядерных и радиационно-опасных объектов в результате коррозии защитных барьеров в Арктическом и Дальневосточном регионах. М.: ИБРАЭ РАН,2010. 342 с.
13. Лавковский С. А., Кобзев В. Н., Лысцов В. Н. и др. Разработка научно-методических основ диагностирования и прогнозирования состояния захоронений ядерных отходов на дне Баренцева, Карского и Японского морей: Определение путей предотвращения опасных экологических последствий // Междунар. науч.-технич. Центр. Н.Новгород.: СКБ «Лазурит», 1998. 348 с.
14. Сивинцев Ю. В., Вакуловский С. М., Васильев А. П. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию: Радиоэкологические последствия тяжелой радиационной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма в 1985 г. // Атом. Энергия. 1994. Т. 76, вып. 2. С.158–160.
Sivintsev Yu. V., Vakulovsky S. M., Vasilyev A. P. et al. Technogenic radionuclides in the seas washing Russia: Radioecological consequences of a severe radiation accident on a nuclear submarine in Chazhma Bay in 1985. Atomic Energy, 1994, vol. 76, iss. 2, pp. 158–160. (In Russian; abstract in English).
15. Высоцкий В. Л., Сотников В. А., Хохлов И. Н. Руководство по расчету разрушения защитных барьеров затопленных, затонувших ядерных и радиационно-опасных объектов в Арктическом и Дальневосточном регионах и оценке скорости выхода техногенных радионуклидов в морскую воду. М.: ИБРАЭ РАН,2011. 61 с.

Поступила в редакцию / Received 01.08.2026
Принята к публикации / Accepted 18.08.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лаврусевич Андрей Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, г. Москва, Россия; SPIN-код: 9383-1829; e-mail: lavrusevich@yandex.ru.

Шендяпина Светлана Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия; SPIN-код: 2974-4850; e-mail: ssh37@mail.ru.

Лаврусевич Иван Андреевич, кандидат технических наук, доцент, Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия; SPIN-код: 1750-0050; e-mail: 4914907@gmail.com.

Вязкова Ольга Евгеньевна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия; SPIN-код: 8597-3841, ORCID: 0000-0003-0927-3606; e-mail: wjask@yandex.ru.

Трофимец Любовь Никифоровна, кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник, ОГУ им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия; SPIN-код: 9508-5650, ORCID: 0000-0003-1305-1053; e-mail: Trofimetc_l_n@mail.ru.

Абенэ Алиса Игоревна, главный специалист, ООО Издательский центр «Академия», г. Москва, Россия; SPIN-код: 2387-6814; e-mail: alice.abene@gmail.com.

Виноградов Алексей Юрьевич, доктор технических наук, генеральный директор, ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай, Россия; WoS ResearcherID: D-3751-2016, ORCID: 0000-0001-8838-8676; e-mail: gd@npogtp.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey A. Lavrusevich, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia, All-Russian Scientific Research Institute of Civil Defense and Emergencies of the Russian Ministry for Emergencies, Moscow, Russia; SPIN-code: 9383-1829; e-mail: lavrusevich@yandex.ru.

Svetlana V. Shendyapina, Ph. D. (Technical), Docent, Moscow State Construction University, Moscow, Russia; SPIN-code: 2974-4850; e-mail: ssh37@mail.ru.

Ivan A. Lavrusevich, Ph. D. (Technical), Docent, Moscow State Construction University, Moscow, Russia; SPIN-code: 1750-0050; e-mail: 4914907@gmail.com.

Olga E. Vyazkova, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia; SPIN-code: 8597-3841, ORCID: 0000-0003-0927-3606; e-mail: wjask@yandex.ru.

Lyubov N. Trofimetz, Ph. D. (Geography), Docent, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia; SPIN-code: 9508-5650, ORCID: 0000-0003-1305-1053; e-mail: trofimetc_l_n@mail.ru.

Alisa I. Abene, Leading Specialist, Publishing Center «Academia» LLC, Moscow, Russia; SPIN-code: 2387-6814; e-mail: alice.abene@gmail.com.

Alexey Yu. Vinogradov, D. Sc. (Technical), Director, NPO "Gidrotekhproekt", Valday, Russia; WoS ResearcherID: D3751-2016, ORCID: 0000-0001-8838-8676; e-mail: gd@npogtp.ru.