

ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ В АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Н. Н. Панасенко¹, А. В. Синельщиков², П. В. Яковлев³

¹ *Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

² *Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,
Астрахань, Российская Федерация*

³ *Санкт-Петербургский горный университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Рассмотрены техногенные риски, возникающие при строительстве и эксплуатации нефтегазовых комплексов в акватории Каспийского моря, с учётом принятия Конвенции о правовом статусе Каспийского моря и урегулирования территориального разделения Каспийского моря. Техногенные риски представлены с позиции безопасности промышленных объектов на акватории и в прибрежной зоне, рассмотрено влияние этих объектов на экологию Каспия. Анализ рисков проведён с учётом мирового опыта, а также произошедших инцидентов на существующих объектах морской нефте- и газодобычи в Каспийском море. Приведена схема нефтегазовых месторождений на дне Каспийского моря и деления дна по итогам принятия Конвенции. Дана общая характеристика Каспийского моря, отмечены уникальные особенности Каспия, наиболее неизученные сейсмические воздействия. Рекомендованы выполнение комплексной оценки состояния дна моря по сейсмологическим, грязевулканическим и инженерно-геологическим условиям; разработка мероприятий по предотвращению и снижению ущерба от опасных природных процессов и эксплуатации нефтегазовых месторождений; прогноз колебаний уровня Каспийского моря с учётом хозяйственной деятельности в современных условиях; исследование природных и техногенных факторов, обуславливающих экологическую безопасность Каспийского моря; мониторинг сейсмических явлений, перемещения коры в зонах тектонических разломов на дне моря и др. Проанализированы скорость и направления ветровых течений в акватории Каспийского моря. Проиллюстрированы карты расположения грязевых вулканов Каспийского бассейна (расположенных на суше, скрытых и выявленных сейсмическими методами, выявленных геолого-геофизическими и геохимическими методами и т. д.). Сделаны выводы о высоких рисках разработки месторождений углеводородного сырья в бассейне Каспийского моря, необходимости учёта экологических требований и стандартов, использования современных технологий для предотвращения инцидентов на объектах морской нефте- и газодобычи.

Ключевые слова: Каспийское море, Конвенция о правовом статусе Каспийского моря, нефтегазодобыча, техногенная опасность, сейсмическая опасность, риск, землетрясения, грязевые вулканы, правовой режим.

Для цитирования: *Панасенко Н. Н., Синельщиков А. В., Яковлев П. В.* Техногенные риски строительства и эксплуатации нефтегазовых комплексов в акватории Каспийского моря // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 4. С. 46–59. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-46-59.

Введение

12 августа 2018 г. прикаспийскими государствами принята Международная конвенция о правовом статусе Каспийского моря [1], а 19 сентября 2019 г. Конвенция была ратифицирована Государственной думой Российской Федерации. Конвенция определила правовой статус природных ресурсов дна Каспия, разделив на сектора по принципу «Делим дно – вода общая» на основе «модифицированной срединной линии».

По общепринятым мировым правилам прикаспийские государства договорились, что на расстоянии 15 миль от берега пролегает государственная граница, т. е. это территориальные воды, принадлежность которых не имела должного подтверждения международными соглашениями.

Казахстану отошло 27 % дна, России – 19 %, Азербайджану – 18 %, Туркмении – 23 %, Ирану – 13 %. Десять миль водной поверхности от берега – национальная рыболовная зона, а остальная акватория и биоресурсы отнесены к общему пользованию. Наибольшую ценность представляют природные ресурсы, расположенные под дном Каспия; прежде всего это месторождения углеводородного сырья – нефти и газа.

Правовые основы освоения месторождений Каспийского моря

Согласно Конвенции дно Каспийского моря поделено на пять секторов, принадлежащих странам, имеющим выход границ к Каспию. Принятие Конвенции имело высокое значение, т. к. согласно СМИ в Каспийском бассейне сосредоточено от 6 до 7 % мировых запасов углеводородов, или в количественном выражении 18–20 млрд т нефти и газового конденсата. Так, месторождения российского сектора оцениваются в 3 млрд т. После принятия Конвенции, по прогнозу ПАО «Лукойл», уже к 2021 г. на Каспии будет добыто 200 млн т нефти и 270 млрд м³ газа. В рамках международного сотрудничества по существующим договорам с Казахстаном месторождения Курмангазы, Хвалынское и Центральное будут разрабатываться в равных долях с Россией (рис. 1) [2].

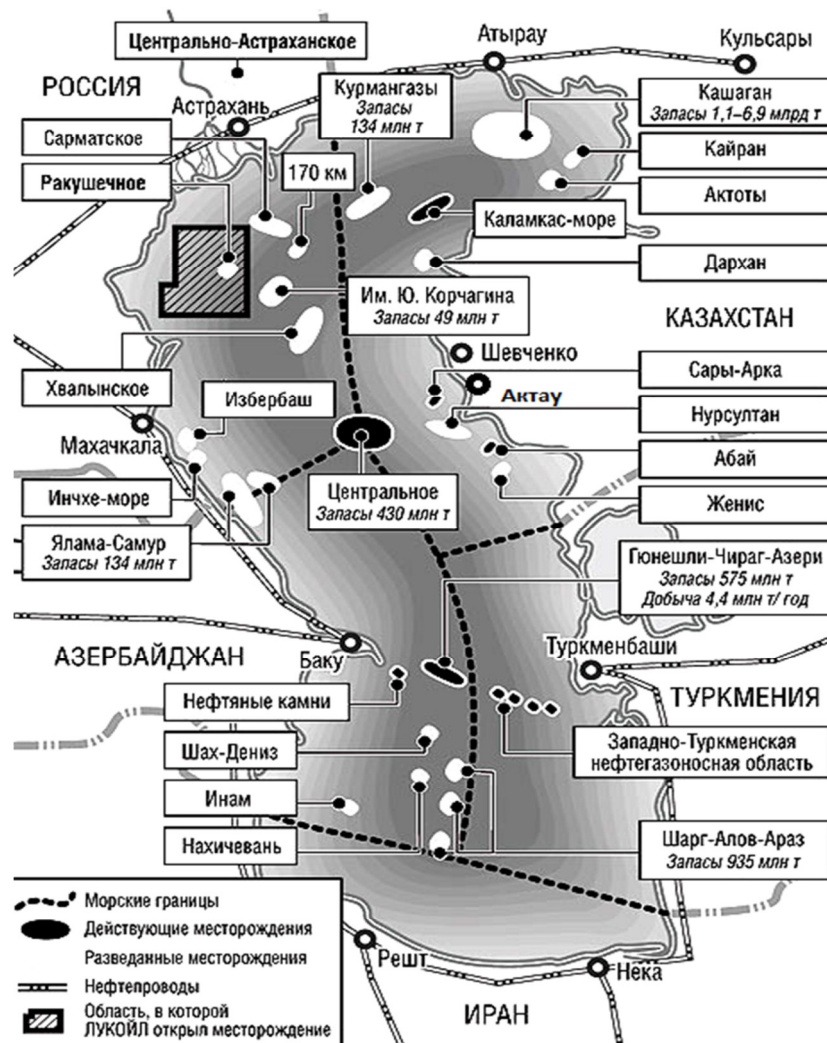


Рис. 1. Нефтегазовые месторождения на дне Каспийского моря и деление дна по итогам принятия Конвенции [2, 3]

Наряду с положительным влиянием урегулирования территориальных вопросов на динамику развития нефтегазового сектора Каспия, существует целый ряд проблем, значимость которых ещё предстоит оценить, а их влияние на регион в целом может превзойти открывшиеся

экономические выгоды от освоения ресурсов Каспия. Это вопросы безопасности промышленных объектов на акватории и в прибрежной зоне, а также влияние этих объектов на экологию Каспия. Мировой опыт подтверждает наличие рисков при решении подобных задач, и предпосылки проблем уже проявляются на существующих объектах морской нефте- и газодобычи.

Так, из мирового опыта известно, что 7–9 % добываемой нефти с морского дна может разливаться по акватории. «Вклад» в эти проценты уже внесён месторождением Кашаган в 2013 г. Последствием стала гибель 50 % кильки в северной части Каспия – основного звена пищевой цепи осетровых, запасы которых сократились в 17 раз. Решением проблемы должен стать «нулевой сброс», который представляет собой полный вывоз с нефтяных платформ всех жидких и твёрдых отходов на сушу с последующей их утилизацией. Однако «нулевой сброс» гарантируется только при работе оборудования в штатном режиме и не является «нулевым риском аварий». Уже сейчас известны проблемные участки. Достигли предельного состояния и требуют замены около 200 км донных труб и труб Каспийского трубопроводного консорциума (КТК) из Тенгиза и Кашагана в Новороссийск (рис. 2, а) [4].

Каспийский бассейн имеет существенные особенности, с которыми не приходилось сталкиваться при освоении других месторождений и которые необходимо учитывать для обеспечения безопасности. Так, авторами [5] выявлена на Северном Каспии опасность повреждения подводных трубопроводов (рис. 2, б) ледовыми образованиями (стамухами и торосами), формирующимися вследствие ветровых воздействий в сочетании с относительно малой толщиной ледового покрова. Эти образования способны заполнять глубины моря (5–12 м) до дна и при своём движении менять его рельеф, сдвигая массы грунта (возможно, вместе с проложенными трубопроводами).

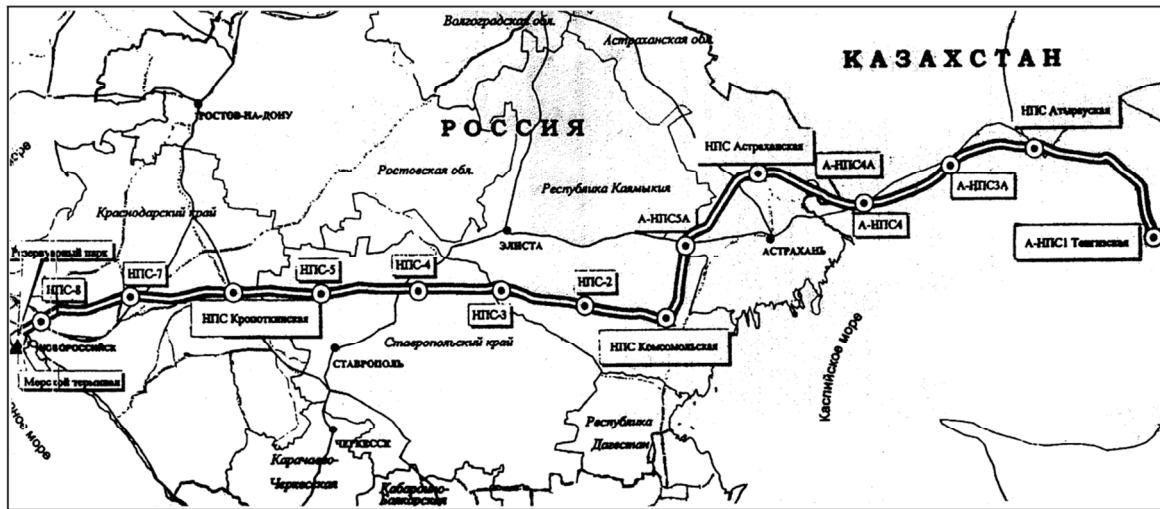
К сожалению, Конвенция, позволившая приступить к активной эксплуатации ресурсов дна Каспия, не установила ответственность участников за оценку и минимизацию рисков, предотвращение которых предусмотрено Международными конвенциями [6]. Это гражданская ответственность за вред, нанесённый нефтяным загрязнением (Конвенция от 29 ноября 1969 г.), а также формирование фонда для компенсации вреда, нанесённого нефтяным загрязнением (Конвенция, принятая в 1971 г.). В настоящее время более 100 стран мира ратифицировали эти конвенции (Scaling compensatory, 1997; Oil spill compensation, 2000) и гарантируют их реализацию.

Строгое соблюдение этих соглашений актуально в свете эксплуатации существующих объектов, деятельность которых сопровождается нанесением ущерба окружающей среде. Так, деятельность американской компании «ТШО» на Тенгизе, начиная с 1993 г., сопровождалась выбросами оксида серы в количестве более 136 тыс. т, окислов азота – 43 тыс. т, сероводорода – 0,4 тыс. т. Вместе с тем по приведённым сведениям [3] контроль за выбросами ядовитых меркаптанов не проводится, а степень их опасности на порядки больше вышеприведённых загрязняющих веществ.

Техногенные риски при строительстве и эксплуатации нефтегазовых объектов на Каспии связаны со следующими производствами и операциями [5]:

- просадка колонн плавучих буровых установок при их задавливании в грунт при попадании в донные разломы;
- заклинивание опорно-подъёмных устройств при подъёме корпусов нефтяных платформ из транспортного в рабочее (надводное) положение;
- размывы грунтов, на которых устанавливаются платформы, и в местах подводной прокладки трубопроводов в результате воздействия донных течений, а также от грязевых вулканов;
- учитывая значительную толщину осадочных отложений на дне Каспия, особый риск представляет разжижение грунта при сейсмических нагрузках;
- низкая несущая способность донных отложений создаёт риски опрокидывания, сдвига платформ при землетрясениях, просадка их колонн при ветровых и волновых нагрузках, ударах о транспортные суда и другие плавающие объекты;
- при выдергивании колонн из грунта существуют риски перекосов, деформаций и затоплений платформ;
- «разъезжание» колонн платформ на слабых грунтах, на горловинах грязевых вулканов или просто при сочетании неблагоприятных внешних нагрузок;
- катастрофические последствия аварийных повреждений одной из колонн с нарушением устойчивости сооружения в целом;
- выброс газа при проведении буровых работ, а в особенности возникновение грифонов. Последнее представляет наибольшую опасность при возникновении грифонов в районе опорных колонн платформы;

– к числу природных факторов необходимо добавить чисто технические и технологические риски, такие как стопорение корпуса платформы при подъеме или спуске на опорных колоннах, потеря работоспособности механизмов подъема, повреждение несущих элементов опорных колонн при ударе о судно, о стамухи или другие плавающие объекты.



б

Рис. 2. Наземные трубопроводы КТК и подводные трубопроводы, инфраструктуры нефтедобычи: а – трубопровод (КТК); б – подводные трубопроводы

Анализ уникальных особенностей Каспия подтвердил, что из всех опасностей наиболее неизученными являются сейсмические воздействия, в том числе наведенные, и грязевые вулканы.

Общая характеристика Каспийского моря

Оценка безопасности объектов нефте- и газодобычи в условия Каспия требует обязательного учёта сейсмической опасности района строительства. Есть нормативные требования, отражённые в картах сейсмического районирования ОСР-2016, на которых акватория Каспия отнесена к зоне 7 баллов с повторяемостью землетрясений один раз в 1 000 лет (карта ОСР-2016-В). Осложняет ситуацию особенность структуры дна Каспия, основу которой составляют осадочные породы, в связи с чем грунты дна отнесены к III категории [7]. Как доказывает анализ последствий землетрясений, при землетрясениях 6,3 балла на суше происходят разрывы трубопроводов. Наличие разрывных зон на дне моря, участков высокой трещиноватости в сочетании с водонасыщенностью проницаемых грунтов, соляных и глиняных куполов, высокие пластовые давления, зоны грязевого вулканизма и очаги землетрясений – повышают риски размещения любых опасных объектов, учёт которых с обеспечением приемлемого уровня безопасности является сложной технической задачей. Вместе с тем в настоящее время подводная трубопроводная инфраструктура уже достаточно развита (см. рис. 2) и по мере увеличения объёмов добычи будет только усложняться.

Среди проблем, которые требуют проработки при размещении промышленных объектов в условиях Каспия, является нестабильность уровня Каспия. Поскольку Каспий является внутренним морем, его уровень не связан с уровнем Мирового океана и зависит от множества причин, демонстрируя циклы роста и падения. Очевидной среди них является объём стока поверхностных вод, прежде всего р. Волги. В условиях нестабильности стока, примером которого стал 2019 г., сопровождающийся пересыханием притоков Волги, следует ожидать изменения уровня моря. Однако колебания уровня моря не могут быть объяснены только объёмами поверхностного стока. Значительный объём воды находится в пористых породах морского дна. Расчёты [8] подтверждают, что всего 1 % объёма подземной воды может привести к подъёму уровня моря на 25 м. В условиях нефте- и газодобычи неизбежно происходит изменение пластовых давлений, приводящих к изменению объёма порового пространства, с одной стороны, и сдвиговым процессам, с другой стороны. Результат этих процессов не очевиден, т. к. взаимосвязан с тектоническими процессами и вулканической деятельностью. Худшим для прибрежных территорий и морских объектов хозяйственной деятельности является подъём уровня моря.

В свете изложенных причин при размещении нефтегазовой инфраструктуры следует обратить внимание на следующее:

1. Практически все месторождения и подводные трубопроводы (см. рис. 2) расположены в зоне повышенной сейсмической активности. Анализ хронологии очагов сейсмической активности подтверждает дрейф зоны высокой активности в восточном – северо-восточном направлении, т. е. к территориям активного строительства нефтегазовых объектов;

2. Нефтегазовые объекты российского сектора находятся в мелководной части Каспия, в связи с чем колебания уровня моря будут наиболее чувствительны, прежде всего, для нефтяных платформ;

3. Северный Каспий зимой покрывается льдом, в большинстве случаев ледовый массив представляет собой дрейфующие поля значительной массы, способные нанести повреждения надводным и подводным сооружениям;

4. Малые глубины российского сектора, с одной стороны, облегчают строительство сооружений, установку платформ, с другой – затрудняют транспортные операции, повышая риск грузовых операций и повреждения подводных трубопроводов.

Учитывая вышеизложенное, для повышения безопасности объектов нефтегазового комплекса на Каспии представляется целесообразным:

– выполнение комплексной оценки состояния дна моря по сейсмологическим, грязевулканическим и инженерно-геологическим условиям;

– разработка мероприятий по предотвращению и снижению ущерба от опасных природных процессов и эксплуатации нефтегазовых месторождений;

– разработка прогноза колебаний уровня Каспийского моря с учётом хозяйственной деятельности в современных условиях;

– исследование природных и техногенных факторов, определяющих экологическую безопасность Каспийского моря [9];

– мониторинг сейсмических явлений, перемещения коры в зонах тектонических разломов на дне Каспия, сдвиги осадочных пород в зонах разработки месторождений нефти и газа.

Морские течения определяют уровень воды в мелководной северной части Каспия, влияют на движение ледовых полей в зоне расположения нефтяных платформ, а также на процессы намыва и размыва морского дна.

На рис. 3 представлена карта скорости и направления течений Каспийского моря.

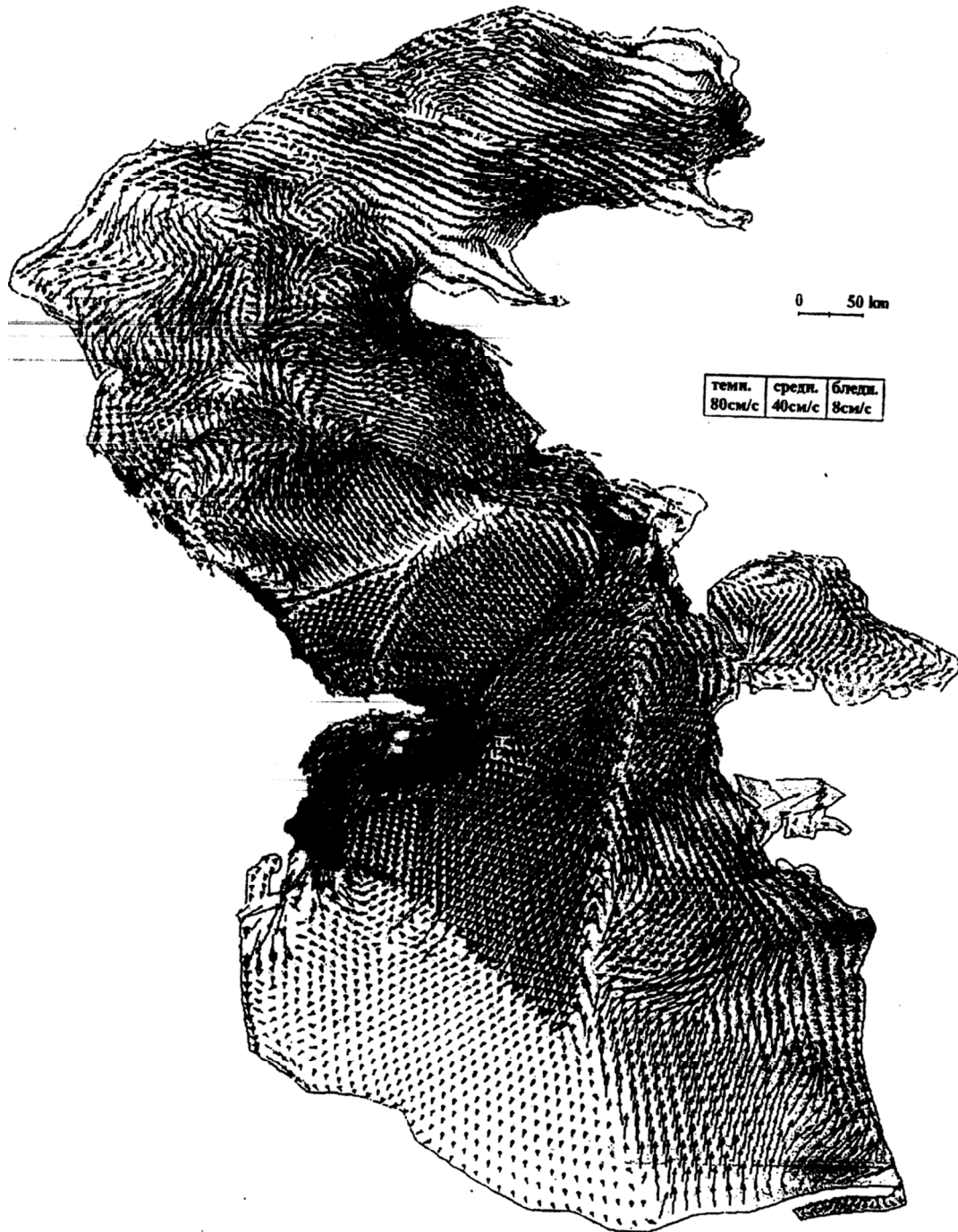


Рис. 3. Скорости и направления ветровых течений в акватории Каспийского моря [2, 10]

На циркуляцию воды влияют речные стоки, роза ветров, неоднородность поля солёности и, как следствие, плотности воды, вращение Земли, конфигурация береговой линии и рельеф дна [10]. Скорости течений в большей степени зависят от ветрового воздействия (нагонные те-

чения). Очевидно, что поля течений отличаются в северной, центральной и южной частях моря. Наиболее значительная скорость ветра (до 80 м/с) зафиксирована у западного берега Среднего Каспия при сильном северном ветре. При слабых и нестабильных ветрах этого направления скорость ветра равна 5–10 м/с, при умеренном ветре она достигает 30–40 м/с. Возле восточного берега преобладает ветер со скоростью 10 м/с, с усилениями до 30 м/с. Наибольшее количество штормов приходится на ноябрь–март. Все эти особенности требуют учёта при строительстве объектов на море и побережье, а также при планировании транспортных операций.

Несмотря на относительно благоприятное ветровое воздействие в российском секторе Каспия, следует понимать, что данные, представленные на карте, отражают результаты статистической обработки розы ветров, а максимальные значения, которые определяют критические сочетания воздействий на производственные объекты, могут значительно превышать эти значения. Так, для Северного Каспия достаточно часто повторяются ветры со скоростью свыше 25 м/с.

При расчёте волнового воздействия следует учитывать, что высота волн в Каспийском море может превышать 10 м. Так, максимальная высота волн в районе Нефтяных Камней достигала 9–10 м. В центральной Каспии наблюдались волны высотой 10–11 м и длиной около 200 м. Согласно расчётам в открытом море максимальная высота волны может достигать 13 м [2].

Изменения глубины дна в мелководной северной части Каспия обусловлены речными стоками Волги и Урала и не представляют серьёзной опасности для объектов, расположенных в открытом море в районе разведанных и уже эксплуатируемых месторождений. Несмотря на это, для объектов, расположенных в речных поймах, и трубопроводов, пересекающих реки, также должны быть предусмотрены защитные меры. Из факторов риска для этих объектов следует отметить меандрирование русла рек, локальные размывы и намывы грунта, колебания уровня воды и ледовое воздействие. Весенние паводки рек и нагонные явления в море создают угрозу затопления прибрежной инфраструктуры.

Ледовый режим Каспийского моря характеризуется образованием ледового покрова в северной части Каспия в прибрежной части, как правило, с середины ноября. К середине декабря граница льда распространяется в открытое море, а в январе граница ледовых полей тянется на юг до широты примерно 50 км южнее месторождения Филановского. Спецификой ледовой обстановки на Каспии можно назвать нестабильность ледяного покрова. Средняя толщина льда на Северном Каспии колеблется от 30 до 60 см, иногда до 130 см и более. Море очищается ото льда в конце марта – начале апреля в зависимости от погодных условий.

Риски освоения месторождений на дне Каспийского моря

С начала XIX в. происходило освоение нефтяных богатств Каспия. Технические возможности позволяли интенсивно осваивать мелководную часть Каспия в современном секторе Азербайджана в районе Апшеронского и Бакинского архипелагов. Переломным моментом можно считать 90-е гг., ознаменовавшиеся разведочными работами российских и зарубежных нефтяных компаний, результатом которых стало открытие целого ряда месторождений. Из них в настоящее время эксплуатируются следующие: Грязевая сопка, Банка Жданова, Булла, Банка Апшеронская, Азери-Чираг-Гюнешли, им. Корчагина, Филановского и др.

Кроме открытия новых месторождений углеводородного сырья, в результате разведки были получены новые данные о потенциальных геологических и технологических рисках освоения Каспия. Так, в Азербайджанском секторе дна, по данным сейсморазведки, было выявлено, что на свале глубин от мелководной в глубоководную область дна расположены молодые неконсолидированные отложения, способные к оползанию как в силу естественных причин, таких как собственный вес и землетрясения, характерных для этой части Каспия, так и техногенных, обусловленных изменениями пластовых давлений при разработке месторождений. Ситуация осложняется открытием неизвестных ранее грязевых вулканов и зон выброса газа. Всё вместе это создаёт серьёзные трудности освоения дна из-за высокой вероятности катастрофических сдвигов.

В связи с этим при разведке природных ресурсов и проектировании объектов нефте- и газодобычи на дне Каспия необходимо учитывать:

- вероятность при бурении развития газо-, водно- и иловых выбросов в стволы скважин из-за наличия зон аномальных пластовых давлений;
- высокую вероятность прорыва газов;

- подвижности неконсолидированных осадочных пород в придонном слое и связанную с этим высокую вероятность оползней;
 - повышенную вероятность открытия газовых и газоконденсатных месторождений.
- Вышеперечисленное определяет необходимость применения методов риск-анализа к оценке окупаемости месторождений в Каспийском море, возможные ущербы и коммерческую привлекательность разведки и разработки месторождений.

Сейсмическая и вулканическая характеристика дна Каспийского моря

Каспийское море существенно отличается по структуре дна и глубинам. Северный Каспий характеризуется небольшими глубинами. Его можно разделить на восточный район, или Урало-Эмбинский (глубины менее 3 м), Уральскую бороздину (глубины от 5 до 8 м) и Волго-Каспийскую равнину с глубинами от 1 до 12 м. Волго-Каспийская равнина сформирована наносами рек Волга, Сулак, Терек и Кума. По своей сути это дельтовая равнина. Мангышлакский порог отделяет Северный Каспий от Среднего Каспия, который ограничивается полуостровами Тюб-Караган и Аграханским. Южный Каспий характеризуется относительно большими глубинами и включает Южно-Каспийскую котловину с максимальной глубиной 1 025 м.

Среди геологических особенностей, которые необходимо учитывать при оценке опасности сейсмических явлений, следует отметить соляные купола, которые проявляются в виде хаотически расположенных банок и наличии в этой части Каспия поднятий. Дно Среднего Каспия напоминает структуру дна океана, где можно выделить континентальный шельф, материковый склон и глубоководную часть. Дно Южного Каспия имеет более сложное строение с признаками современного тектонического движения. Это строение определяет сейсмические особенности Каспийского бассейна, отражённые на карте ОСР-2016-В (рис. 4).

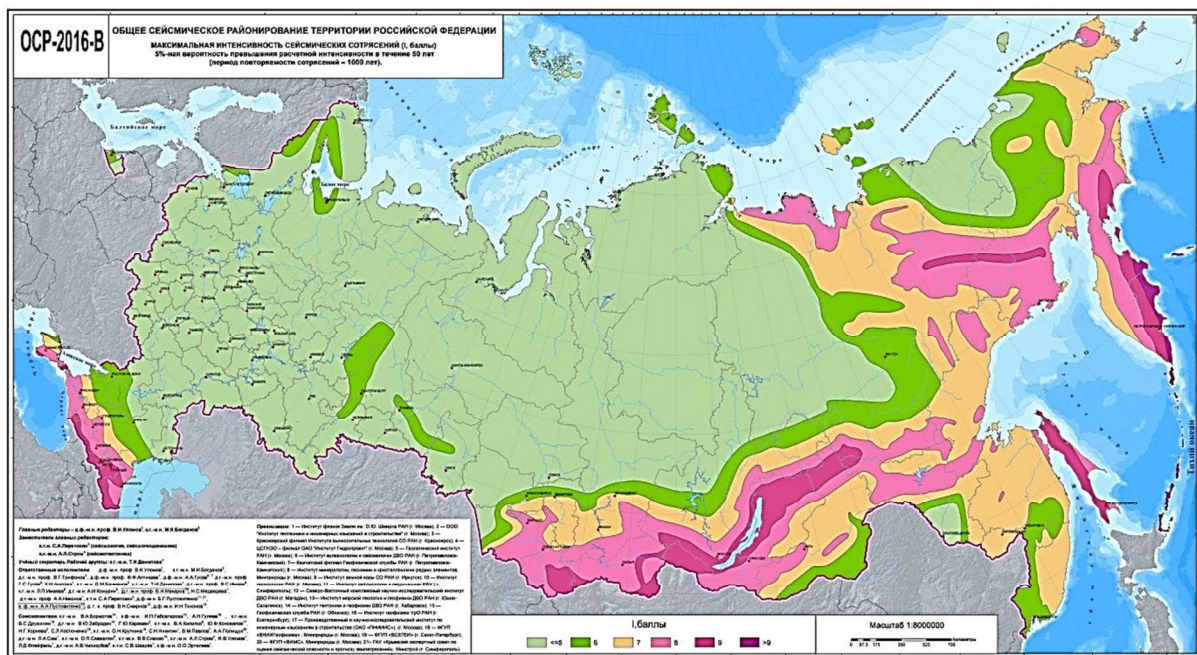
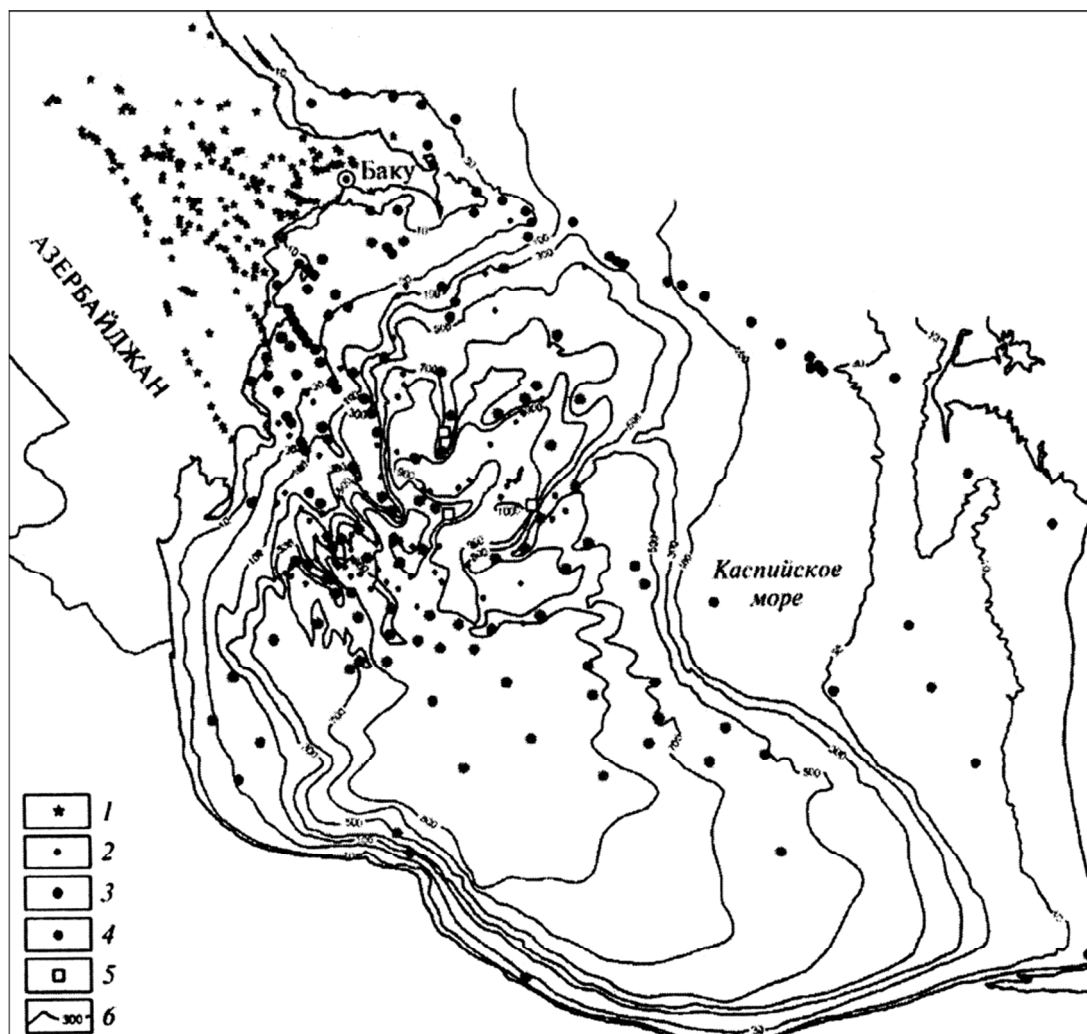


Рис. 4. Повторяемость сейсмических явлений интенсивностью 8 баллов на карте ОСР-2016-В [7]

Тектоническая активность Каспия отразилась на структуре его дна, где обнаруживаются участки значительного снижения толщины земной коры, а также изменения геофизических характеристик дна. Для Бакинского архипелага, представляющего собой группу островов и банок, характерно присутствие кратеров грязевых вулканов (рис. 5), деятельность которых должна учитываться при оценке рисков при освоении Каспийского бассейна, активность которых, в свою очередь, в значительной степени определяется как техногенным воздействием, так и сейсмическими явлениями.



a



б

Рис. 5. Грязевые вулканы Каспийского бассейна: *a* – карта расположения грязевых вулканов: 1 – расположенных на суше; 2 – скрытых и выявленных только сейсмическими методами; 3 – скрытых и выявленных геолого-геофизическими и геохимическими методами; 4 – скрытых и выявленных геоморфологическим методом; 5 – грязевые вулканы со скоплениями кристаллогидрантов; *б* – изобаты; *б* – общий вид грязевого вулкана в Нахичеванском блоке [11]

Согласно карте (рис. 5, а) значительная часть грязевых вулканов не обнаруживается визуально, но их потенциальное влияние на инфраструктурные объекты от этого не становятся менее разрушительными.

Потенциальное влияние грязевых вулканов значимо также ввиду их большого числа. Так, только на Бакинском архипелаге около 40 вулканов. Как отмечалось выше, большая часть из них скрыта. Например, некоторые банки представляют собой вулканические конусы, скрытые между циклами активности вулканов под современными отложениями.

Грязевые вулканы распространены и на дне Каспия. Так, в Южно-Каспийской котловине, характеризующейся складчатыми грядами, ложбинами, каналами и банками, Банка Борисова представляет собой действующий грязевой вулкан, высота которого достигает 400 м. Этот вулкан делит западный склон котловины на части, которые также состоят из грязевых вулканов, ставших причиной складчатой структуры дна в этом районе [11, 12]. Таким образом, в данном районе можно говорить о системе вулканических образований, определяющих рельеф дна.

На дне Южного Каспия выявлено около 300 действующих и спящих грязевых вулканов (рис. 5, а), что составляет около половины общемирового числа грязевых вулканов.

Ледовый режим акватории Каспийского моря

Ледовый покров Каспийского моря при освоении его природных ресурсов с позиции рисков аварийных ситуаций и техногенного воздействия на окружающую среду включает в себя воздействие ледовых полей на объекты инфраструктуры, как отмечалось ранее, и влияние ледового покрова при аварийных выбросах и разливах. Для водных биоресурсов наибольшую опасность представляет загрязнение водной среды нефтью в зимнее время, когда поверхность моря покрыта льдом, т. к. это приводит к локальной концентрации загрязняющих веществ, усиливая их токсическое воздействие на рыб [13].

Ледовые поля представляют собой достаточно опасное явление в силу их большой массы и инерции для надводных объектов, таких как плавучие буровые установки и трубопроводы, расположенные в мелководной части моря.

В расчётах на сочетание нагрузок на объекты нефте- и газодобычи следует обязательно учитывать ледовое воздействие двух типов: квазистатические или циклические, в зависимости от особенностей взаимодействия льдов с сооружением. Циклические нагрузки, как правило, связаны с воздействием плавучих льдов, приводящих к раскачиванию опор платформ и иных объектов. Расчёт на прочность этих элементов в обязательном порядке должен дополняться расчётом на усталость металла. Квазистационарные нагрузки имеют уникальную особенность, характерную для Северного Каспия, и определяются столкновением ледяного поля с препятствием, разрушением льда, который послойно выталкивается на лёд, находящийся впереди, формируя из этих слоёв значительное по толщине образование, часто имеющее такую толщину, что оно ложится на донный грунт или спрессовывается в торосы в толще воды. Для предотвращения разрушения нефтяных платформ в этом случае требуется разработка специальной защиты морского сооружения.

В перечень сочетания расчётных нагрузок на объекты, расположенные в море, обычно включают максимальное волнение моря, максимальные и минимальные температуры воздуха и воды, максимальный уровень моря с учётом нагонных явлений, максимальные ветер и морские течения, квазистационарную и циклическую ледовую нагрузку, а для условий Каспия – обязательный дополняемый комплекс исследований потенциально опасных сдвигов верхних и нижних пластов [14], характерных для Каспия: землетрясения, оползни, тектонические процессы, вулканические явления на дне. Сложность прогнозирования последних явлений требует тщательного изучения как текущего состояния морского дна, так и прогноза развития изменений и тяжести их последствий.

Дрейф льда, представляющий наибольшую опасность для объектов нефтедобычи, определяющий уникальную особенность воздействия для каждого из объектов, обуславливается розой ветров в зимний период, картой морских течений, сезонными путями дрейфа плавучего льда [11]. Как отмечалось выше [5], наибольшую опасность для подводных трубопроводов представляют стамухи (слоистые ледовые образования), сидящие на мели в виде отдельных торосов или барьеров, длиной до 1 км, шириной в десятки метров, а высотой до 10 м и более. Стамухи образуют-

ся, как правило, на мелководье и при движении оставляют глубокие борозды на дне длиной от десятков метров до километра, а шириной от 50 до 100 м. Эти явления представляют особую опасность для трубопроводов, т. к. глубина борозд может достигать 5 м. Учитывая, что проектная глубина заглупления трубопровода составляет 3 м, очевидна высокая вероятность нефте- и газопроводов в условиях Северного Каспия.

Масштаб проблемы, в частности опасности аварий морских трубопроводов, иллюстрирует имеющаяся статистика техногенных аварий в условиях Каспия. Так, за пять лет эксплуатации морского месторождения «Имени 28 апреля» на магистральных трубопроводах протяжённостью менее 100 км произошли 6 крупных аварий. Есть экспертные оценки частоты повреждений морских трубопроводов, в мировой практике оценивается на уровне 0,8 аварий на 1 000 км в год [2]. Очевидно, что строительство и эксплуатация трубопроводов в различных районах Земли различно и в значительной степени зависит от конкретных условий. Имеющиеся данные по рискам для Северного Каспия, характеризующегося небольшими глубинами, осложнёнными литодинамическими процессами, внешними воздействиями, такими как ледовая абразия, позволяют прогнозировать более высокую уязвимость этих объектов. При этом экспертная оценка природных опасных факторов здесь может оказаться недостаточно точной, поскольку практически отсутствует опыт строительства трубопроводов в обширной мелководной зоне Северного Каспия – зоне со сложной ледовой обстановкой, где дрейф льда в районе ледовых участков достигает скоростей 0,1–0,3 м/с.

Сравнение рисков транспортировки нефти подтвердило, что трубопроводы имеют более высокие показатели риска по сравнению с транспортом нефти танкерами. В результате нефтедобывающие компании приняли решение о сочетании способов транспорта нефти и (наряду со строительством нефтепроводов по дну моря) трубопроводный транспорт дублируется нефтеналивным флотом (см. рис. 2).

Учитывая имеющиеся проблемы, создаваемые особенностями ледовой обстановки Каспия, необходимо отметить строительство значительного числа трубопроводов в незамерзающей части моря. Это планы строительства нескольких транскаспийских трубопроводов из Казахстана и Туркменистана до Баку. Пропускная способность этих трубопроводов в разы будет превышать мощность нефтепроводов российского сектора Каспия. Вероятнее всего, при их проектировании учитываются современные климатические условия с высокой повторяемостью тёплых зим, и ледовая опасность может быть оценена неправильно. Учитывая цикличность климатических явлений, необходимо вспомнить более давние периоды. Например, в период с 1925 по 1975 г. дрейфующий лёд наблюдался на широте Апшеронского полуострова в среднем 1 раз в 10 лет [11].

Заключение

Оценка данных по разрабатываемым и разведанным месторождениям Каспийского моря позволяет считать регион сырьевой базой углеводородов мирового значения. В то же время, учитывая уникальность бассейна Каспийского моря, необходимо сделать вывод о высоких рисках разработки месторождений углеводородного сырья, определяемых особенностями самих месторождений, высоким риском сейсмического воздействия, возрастающим на фоне тектонических процессов и техногенного воздействия, обусловленного разработкой газовых и нефтяных месторождений. Для Каспия характерна интенсивная вулканическая деятельность, в том числе с наличием спящих вулканов, к возобновлению активности которых могут привести как сейсмические явления, так и разработка месторождений. Риски для инфраструктуры нефтедобычи и транспорта создают сочетания таких трудно прогнозируемых природных явлений, как колебания уровня и сложная ледовая обстановка Каспия.

Для снижения риска техногенных аварий нефтедобывающего комплекса прикаспийских стран (согласно ст. 14 Конвенции [1]) прокладываемые подводные кабели и магистральные трубопроводы по дну Каспийского моря должны учитывать перечисленные выше риски, а их проекты – учитывать экологические требования и стандарты, закреплённые в заключённых международных договорах, в том числе Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря с протоколами, «Повестке дня на XXI в.» [9]. В соответствии с этими документами нефте- и газодобыча должны осуществляться на основе современных технологий с обязательной оценкой последствий и рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конвенция о правовом статусе Каспийского моря. URL: <https://ria.ru/20191001/1559318075.html> (дата обращения: 02.09.2019).
2. Панасенко Д. Н. Международно-правовой режим экосистемного управления природными ресурсами Каспийского моря: моногр. Астрахань: Изд. дом «Астрахан. ун-т», 2007. 363 с.
3. Алекперов В. Ю., Маганов Р. У. Реалии и векторы развития нефтегазовой промышленности в российском секторе Каспийского моря. М.: Зебра-ПР, 2018. 218 с.
4. Терентьев Д. Каспийский гамбит. URL: <https://argumenti.ru/politics/2018/08/582229> (дата обращения: 02.09.2019).
5. Курапов А. А., Попов Н. В., Островская Е. В. Экологическая безопасность нефтяных операций на мелководном шельфе. Международная практика и опыт российских компаний на Северном Каспии. Астрахань: Изд-во КаспМНИЦ, 2006. 266 с.
6. Бекашев К. А., Ходаков А. Г. Международное морское право: универсальные договоры // Международн. публичное право: сб. документов. Т. 2. М.: БЕК, 1996. С. 242–357.
7. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. М.: Минстрой России, 2018. 125 с.
8. Солодилов Л. Н. Концепция безопасности Каспийского бассейна в связи с развитием инфраструктуры ТЭК // Прогноз и контроль геодинамической и экологической обстановок в регионе Каспийского моря в связи с развитием нефтегазового комплекса: материалы Междунар. науч.-организац. семинара по программе «Геоэкокаспий-нефть» (Баку, Астрахань, 24–26 июня 1998 г.). М.: Научн. мир, 2000. С. 15–24.
9. Повестка дня на XXI в. // Материалы Конф. ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 03–14 июня 1992 г.). Рио-де-Жанейро, 1993. 417 с. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml (дата обращения: 02.09.2019).
10. Панасенко Д. Н. Трансграничное загрязнение Каспийского моря нефтепродуктами // Вестн. Каспия. 2008. № 3. С. 59–70.
11. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 2. Каспийское море / под ред. Ф. С. Терзиева. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 268 с.
12. Алиев А. А. Грязевые вулканы Каспийского моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2014. № 1. С. 33–44.
13. Muir D. C. G., Wegemann R., Lockhart W. L. Heavy metal and organic contaminants in Arctic marine fish. Environmental Studies, Indian and Affairs. 42. Canada, Ottawa, 1987. 64 p.
14. Karbalaali H., Qayyum F., Groot P., Javaherian A. Shallow Geohazard Channel Identification Based On Novel Seismic Interpretation Techniques in South Caspian Sea. 80th EAGE Conference and Exhibition 2018 (Copenhagen, Denmark, 11–14 June 2018). URL: https://www.researchgate.net/publication/327860742_Shallow_Geohazard_Channel_Identification_Based_On_Novel_Seismic_Interpretation_Techniques_in_South_Caspian_Sea (дата обращения: 02.09.2019).

Статья поступила в редакцию 09.09.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Панасенко Николай Никитович – Россия, 414056, Астрахань, Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры техники и технологии наземного транспорта, psastr@mail.ru.

Синельщиков Алексей Владимирович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный архитектурно-строительный университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой прикладной механики и графики; sinelshikov@aucu.ru.

Яковлев Павел Викторович – Россия, 199106, Санкт-Петербург; Санкт-Петербургский горный университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры теплотехники и теплоэнергетики; zvs01jak@rambler.ru.



TECHNOGENIC RISKS OF BUILDING AND OPERATION OF OIL AND GAS COMPLEXES IN OFFSHORE AREA OF THE CASPIAN SEA

N. N. Panasenko¹, A. V. Sinelshchikov², P. V. Yakovlev³

¹ Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation

² Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,
Astrakhan, Russian Federation

³ Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article touches upon the problem of technogenic risks arising in the course of building and operating oil and gas complexes in the Caspian Sea taking into account the adoption of the Convention on the legal status of the Caspian Sea and regulation of the territorial division of the Caspian Sea. Technological risks are presented from the position of safety of industrial facilities in the offshore area and in the coastal zone, the impact of these facilities on the ecology of the Caspian is considered. The risk analysis was carried out taking into account world experience, as well as incidents that occurred at the offshore oil and gas production facilities in the Caspian Sea. There has been presented the layout of oil and gas fields at the bottom of the Caspian Sea and the division of the bottom based on adopting the Convention. A general description of the Caspian Sea has been given; unique features of the Caspian and the most unexplored seismic effects have been stated. It has been recommended to conduct a comprehensive assessment of the state of the seabed according to seismological, mud, volcanic and engineering-geological conditions; to develop measures for preventing and reducing the damage from hazardous natural processes and exploitation of oil and gas fields; to forecast the fluctuations of the Caspian Sea level, taking into account today's economic activity; to study the natural and technogenic factors determining the environmental safety of the Caspian Sea; to monitor seismic phenomena, crustal movement in zones of tectonic faults at the sea bottom, etc. The speed and direction of wind currents in the Caspian Sea have been analyzed. The maps of mud volcanoes location in the Caspian basin (located on land, hidden and identified by seismic, geological, geophysical and geochemical methods, etc.) are illustrated. Conclusions are made about the high risks for developing hydrocarbon deposits in the Caspian Sea basin. There is the need to take into account environmental requirements and standards, to use modern technologies, to prevent incidents at offshore oil and gas production facilities.

Key words: the Caspian Sea, Convention on the Legal Status of the Caspian Sea, oil and gas production, technogenic danger, seismic danger, risk, earthquakes, mud volcanoes, legal order.

For citation: Panasenko N. N., Sinelshchikov A. V., Yakovlev P. V. Technogenic risks of building and operation of oil and gas complexes in offshore area of the Caspian Sea. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;4: 46-59. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-46-59.

REFERENCES

1. *Konvenciya o pravovom statuse Kaspijskogo morya* [Convention on the Legal Status of the Caspian Sea]. Available at: <https://ria.ru/20191001/1559318075.html> (accessed: 02.09.2019).
2. Panasenko D. N. *Mezhdunarodno-pravovoj rezhim ekosistemnogo upravleniya prirodnymi resursami Kaspijskogo morya: monografiya* [International legal regime of the ecosystem management of natural resources of the Caspian Sea: monograph]. Astrahan', Izd. dom «Astrahanskij universitet», 2007. 363 p.
3. Alekperov V. Yu., Maganov R. U. *Realii i vektory razvitiya neftegazovoj promyshlennosti v rossijskom sektore Kaspijskogo morya* [Realities and vectors of development of oil and gas industry in Russian sector of the Caspian Sea]. Moscow, Zebra-PR Publ., 2018. 218 p.
4. Terent'ev D. *Kaspijskij gambit* [Caspian Gambit]. Available at: <https://argumenti.ru/politics/2018/08/582229> (accessed: 02.09.2019).
5. Kurapov A. A., Popov N. V., Ostrovskaya E. V. *Ekologicheskaya bezopasnost' neftyanyh operacij na melkovodnom shel'fe. Mezhdunarodnaya praktika i opyt rossijskih kompanij na Severnom Kaspii* [Environmental safety of oil operations on shallow shelf. International practice and experience of Russian companies in the North Caspian]. Astrahan', Izd-vo KaspMNIC, 2006. 266 p.
6. Bekashev K. A., Hodakov A. G. *Mezhdunarodnoe morskoe pravo: universal'nye dogovory* [International Law of the Sea: Universal Treaties]. *Mezhdunarodnoe publichnoe pravo: sbornik dokumentov*. Vol. 2. Moscow, BEK Publ., 1996. 539 p. Pp. 242-357.

7. SP 14.13330.2018 «*Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah*» [SP 14.13330.2018 Construction in seismic areas]. Moscow, Minstroj Rossii, 2018. 125 p.
8. Solodilov L. N. Konceptiya bezopasnosti Kaspijskogo bassejna v svyazi s razvitiem infrastruktury TEK. Prognoz i kontrol' geodinamicheskoy i ekologicheskoy obstanovok v regione Kaspijskogo morya v svyazi s razvitiem neftegazovogo kompleksa [Security concept of the Caspian basin in connection with developing infrastructure of fuel and energy complex. Forecast and control of geodynamic and environmental conditions in the Caspian Sea region in connection with development of oil and gas complex]. *Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-organizacionnogo seminaru po programme «Geokokaspij-neft'» (Baku, Astrahan', 24–26 iyunya 1998 g.)*. Moscow, Nauchnyj mir Publ., 2000. 197 p. Pp. 15-24.
9. Povestka dnya na XXI v. [Agenda for the XXI century]. *Materialy Konferencii OON po okruzhayushchej srede i razvitiyu (Rio-de-Zhanejro, 03–14 iyunya 1992 g.)*. Rio-de-Zhanejro, 1993. 417 p. Available at: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml (accessed: 02.09.2019).
10. Panasenko D. N. Transgranichnoe zagryaznenie Kaspijskogo morya nefteproduktami [Transboundary pollution of the Caspian Sea with oil products]. *Vestnik Kaspiya*, 2008, no. 3, pp. 59-70.
11. *Gidrometeorologicheskie usloviya shel'fovoj zony morej SSSR. Vol. 2. Kaspijskoe more* [Hydrometeorological conditions of shelf zone of seas of the USSR. Vol. 2. The Caspian Sea]. Pod redakciej F. S. Terzieva. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1986. 268 p.
12. Aliev A. A. Gryazevye vulkany Kaspijskogo morya [Mud volcanoes of the Caspian Sea]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*, 2014, no. 1, pp. 33-44.
13. Muir D. C. G., Wegemann R., Lockhart W. L. *Heavy metal and organic contaminants in Arctic marine fish. Environmental Studies, Indian and Affairs*. 42. Canada, Ottawa, 1987. 64 p.
14. Karbalaali H., Qayyum F., Groot P., Javaherian A. Shallow Geohazard Channel Identification Based On Novel Seismic Interpretation Techniques in South Caspian Sea. *80th EAGE Conference and Exhibition 2018 (Copenhagen, Denmark, 11–14 June 2018)*. URL: https://www.researchgate.net/publication/327860742_Shallow_Geohazard_Channel_Identification_Based_On_Novel_Seismic_Interpretation_Techniques_in_South_Caspian_Sea (дата обращения: 02.09.2019).

The article submitted to the editors 09.09.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Panasenko Nikolay Nikitovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technique and Technology of Land Transport; psastr@mail.ru.

Sinelshchikov Alexey Vladimirovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Applied Mechanics and Graphics; sinelshchikov@aucu.ru.

Yakovlev Pavel Viktorovich – Russia, 199106, Saint-Petersburg; Saint-Petersburg Mining University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Thermal Engineering and Heat Power Engineering; zvs01jak@rambler.ru.

