

ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА КАСПИЙСКОГО МОРЯ¹

М. Н. Покусаев¹, 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*

Проведен подробный анализ техногенных рисков строительства и эксплуатации нефтегазовых комплексов в акватории Каспийского моря, актуализируется тема экологического кризиса Каспия, рассматриваются возможные меры по предотвращению и минимизации негативных последствий развития нефтегазодобывающей деятельности на дне моря для экосистемы. Проанализирован геотермальный режим дна Каспийского моря в контексте с глубинными процессами в земной коре. Дно Каспия довольно разнообразно, вследствие чего возможны риски строительства объектов на осваиваемой территории. Опасность для объектов добычи и транспорта нефти представляют наземные, подводные и островные грязевые вулканы, сформированные крупными продольными и поперечными тектоническими нарушениями. Подробно исследуются тектонические процессы дна Каспийского моря. Отмечено, что в настоящее время в земной коре региона происходят глобальные геодинамические процессы, оказывающие влияние на природную среду Каспия, что неизбежно повлияет и на промышленные объекты хозяйственной деятельности на шельфе. По сейсмической активности дно Каспийского моря разделено на две части: сейсмически пассивную северную часть (Скифско-Туранская и Восточно-Европейская платформы) и южную, в настоящее время сейсмически активную, часть (альпийский орогенно-складчатый пояс). Представлены карты возможных землетрясений и сейсмической активности в зоне дна Каспийского моря. Поскольку механизм возникновения сейсмической активности, вызванной вулканами, не изучен в полной мере, обоснована необходимость разработки высокоточного прогноза положений опасных зон и узлов в связи с развитием нефтегазовой индустрии. Проиллюстрирован тектонический и геологический каркас Каспийского региона, отмечены региональные разломные структуры, оказывающие влияние на формирование биосферных зон, крупнейшие тектонические узлы, влияющие на природные и техногенные процессы. Особое внимание уделено рискам сероводородного загрязнения Каспийского моря. Сделаны выводы о перспективности освоения Каспия, богатого запасами нефти и газа; о необходимости обеспечения безопасности и сокращения ущерба, причиняемого экологической системе Каспийского моря.

Ключевые слова: Каспийское море, дно моря, управление, устойчивое развитие, нефтедобывающая деятельность, риск, природные и техногенные опасности, землетрясения, грязевые вулканы.

Для цитирования: Покусаев М. Н., Панасенко Н. Н., Синельщиков А. В., Яковлев П. В. Техногенные риски освоения шельфа Каспийского моря // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 4. С. 36–52. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-36-52.

Введение

Период длительных переговоров между прикаспийскими государствами был завершён 12.08.2018 г. принятием Международной конвенции о правовом статусе Каспийского моря [2], ратифицированной Государственной думой Российской Федерации 19.09.2019 г. Конвенция определила статус Каспия, и в первую очередь правовой статус природных ресурсов морского

¹ Настоящая работа является продолжением исследования [1], где были рассмотрены техногенные риски строительства и эксплуатации нефтегазовых комплексов в акватории Каспийского моря.

дна. В содержании Конвенции Каспий разделен на сектора по принципу деления дна моря при коллективной собственности на воду. Деление произведено на основе «модифицированной срединной линии». Конвенция призвана разрешить споры о принадлежности ресурсов дна и обеспечить устойчивое развитие инфраструктуры и сохранение природных ресурсов Каспийского моря в условиях интенсивной нефтегазодобывающей деятельности (НГДД) на дне моря. Опасения по поводу экологического кризиса Каспия имеют основания, но остановить развитие региона и освоение природных богатств непродуктивно по многим позициям. В современных условиях первоочередной задачей является выработка стратегии развития, минимизирующей негативные последствия этого развития для экосистемы Каспийского моря, и предотвращения аварийных ситуаций.

В настоящей статье сделана попытка обозначить по отдельности те предосторожности в условиях современной НГДД, которые будут способствовать минимальной деградации природной среды Каспийского моря. Реальность – это отходы, загрязнение в условиях, сопутствующих природно-техногенным процессам. Одной из основных задач, которые следует решать в первую очередь, должна стать минимизация отходов хозяйственной деятельности в условиях НГДД. В сложных технических системах, подверженных риску отказов, требуется защита от ошибок производственного персонала и от опасных природных явлений, которые следует с определенной вероятностью ожидать в современных условиях в регионе Каспийского моря.

В большинстве теорий управления признана необходимость подхода к управлению территорий на принципах системного анализа [1]. Управлять НГДД в акватории Каспия в рамках существующей природно-биологической среды – значит балансировать между технологиями, экономической эффективностью производства, рисков НГДД в условиях неблагоприятных природных явлений и факторов: геотермальных, тектонических, наведенных в результате НГДД [3]. В связи с вышеобозначенными перечисленными факторами и природными рисками должны быть оценены для выработки оптимальных технических и управленческих решений, минимизирующих последствия для окружающей среды, как предполагает конвенция «Повестка дня на XXI век» [4], в настоящее время наиболее актуальная программа реализации принципов развития человечества. Реализация данной программы в регионе позволит в долгосрочной перспективе решить многие проблемы и не создать новые, отсрочив их ради сиюминутной выгоды [5], преодолев последствия превышения производственной активности людей над мерами по сохранению среды существования.

Геотермальный режим дна Каспийского моря

Геотермальный режим дна Каспия определяется геологическими процессами донной части моря и должен рассматриваться в контексте с угрозой теплового воздействия скважин нефтегазодобычи на биоту в районах нефте- и газодобычи. На глубинах 1–4 км ниже дна моря в распределении тепловых полей можно отметить ряд общих закономерностей, свойственных каждому из уровней. Наибольшей пластовой температурой отличается Среднекаспийская область, к которой относятся равнинный Средний Каспий, Дагестан, Южная Калмыкия, Мангышлак. К этой области можно отнести и центральную часть Северного Устьярта. Умеренные температуры отмечены в районах Северного и Южного Каспия. Для них характерны значительные мощности осадочной толщи, со значениями 16–20 и более км. Меньшие температуры характерны для северо-западных и северо-восточных районов Каспия, включая южную часть Прикаспийской низменности, а также районы Кавказа и озера Кара-Богаз-Гол [6].

Повышение температуры и плотности теплового потока через земную кору может сигнализировать о глубинных процессах и повышенном риске строительства объектов на этих территориях. Дно Каспия в этом отношении достаточно разнообразно. Так, в акватории Каспия выделяется субмеридиональная полоса высоких, достигающих до 100 мВт/м^2 , и даже экстремальных, до 160 мВт/м^2 , значений теплового потока. В то же время в Апшеронском районе наблюдаются пониженные значения плотности фонового теплового потока в пределах 40 мВт/м^2 . Последнее сочетается с высокими температурами дна, что не может быть следствием только толщины земной коры.

Необычный геотермальный режим дна Каспия во многом объясняется еще одним фактором – вулканическими проявлениями в Средне- и Южно-Каспийской впадине. Происхождение впадины связано с особенностями формирования Каспия и процессов складко- и разрывообразования, сопровождающихся появлением зон избыточного давления на осадки [6].

Для Каспия характерны наземные, подводные и островные грязевые вулканы. Как правило, они соответствуют крупным продольным и поперечным тектоническим нарушениям. Обычно они расположены в зонах антиклинальных поднятий, таких как свод, крылья, периклинали, перекрывающих зоны грязевулканической брекчией. Извержения грязевых вулканов сопровождаются водяными и газовыми выбросами, иногда они воспламеняются и превращаются в факелы высотой до 500 м. Так, 28.03.1977 г. на острове Лось (Гарасу) горящие газы можно было наблюдать на удалении 70 км. Всего зафиксировано 26 случаев воспламенения углеводородосодержащих газов. Высота факела свыше 500 м отмечена во время извержения островных вулканов Гил в 1895 г., вулкана Гарасу дважды – в 1923 и в 1977 гг., вулкана Харе-Зиры в 1940 г. [7]. Извержение может продолжаться 4–5 дней, влияя на температурный режим дна. При проектировании объектов нефте- и газодобычи на шельфе Каспия подобные явления должны обязательно учитываться ввиду масштабности процессов и высоких рисков для объектов добычи и транспорта нефти.

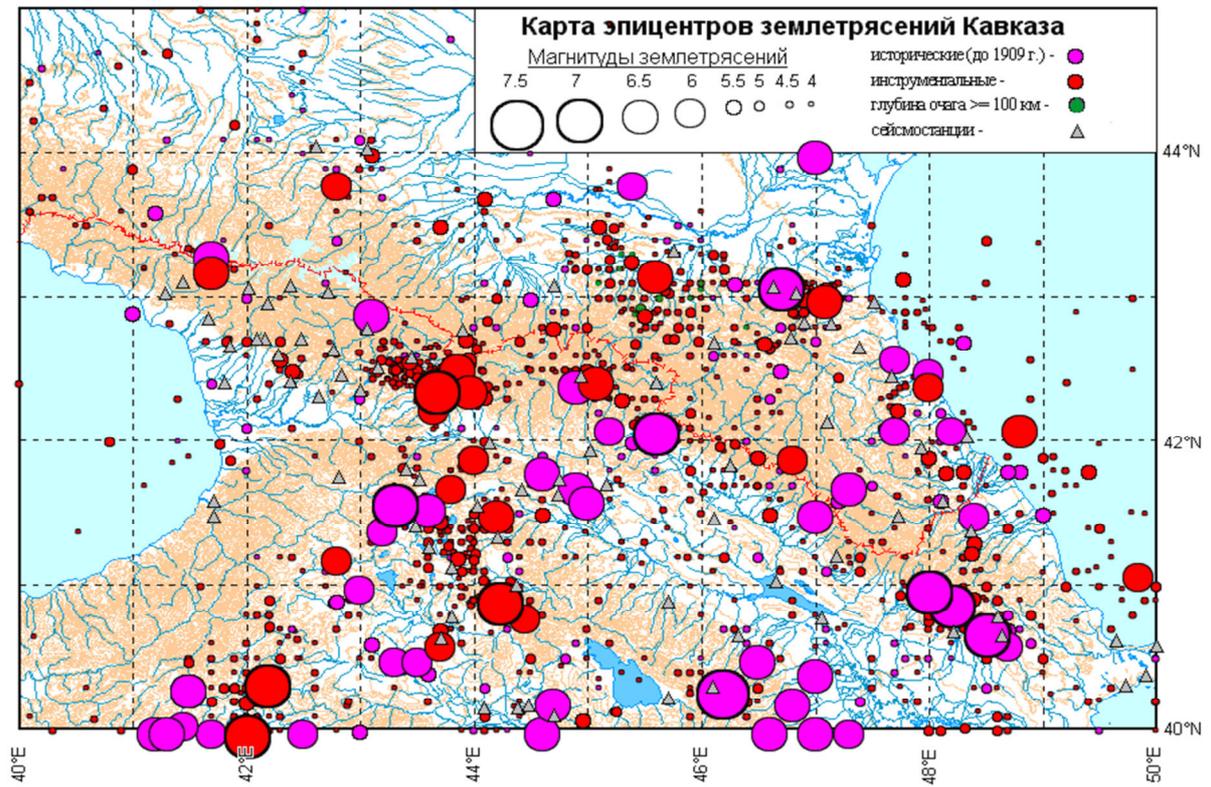
Тектонические процессы дна Каспийского моря

Геодинамические процессы [8] создают геологические риски, которые необходимо принимать во внимание при промышленно-хозяйственном освоении прибрежных зон и дна Каспийского моря.

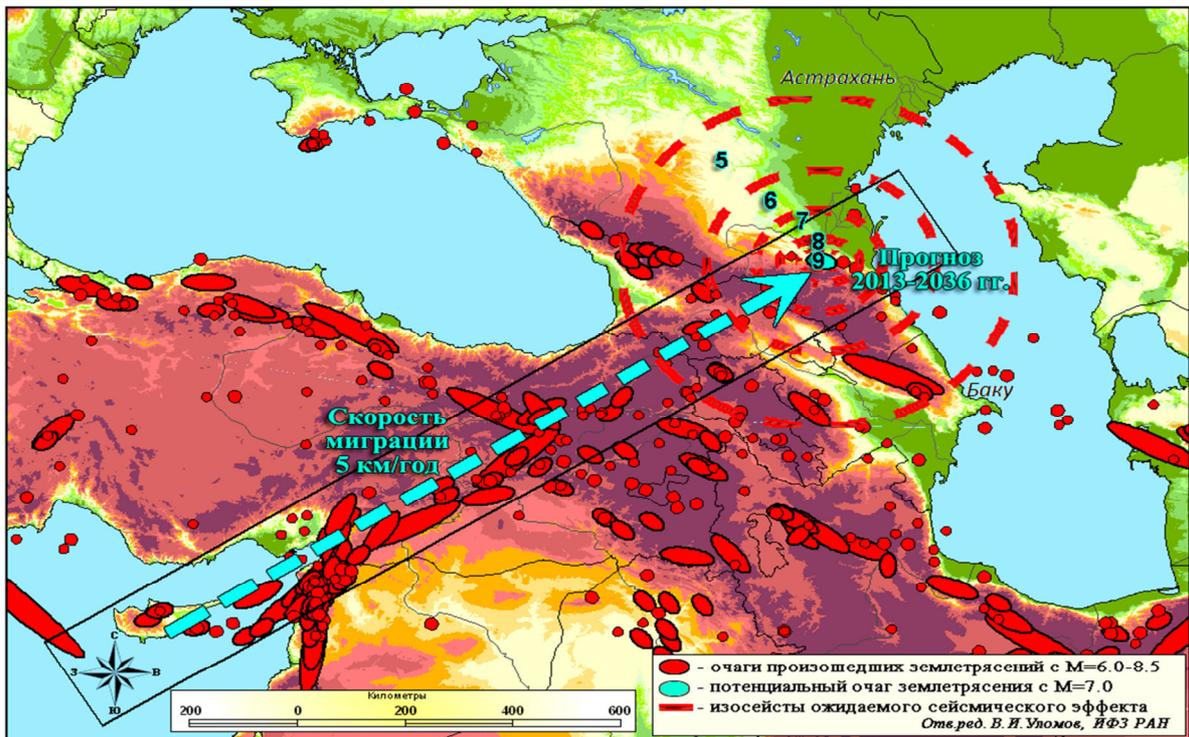
Следует различать высокочастотные, среднечастотные и низкочастотные геодинамические процессы [9]. Высокочастотные хорошо известны как землетрясения разной интенсивности, представляющие собой кратковременные разгрузки напряжений, накопленные в течение длительного времени при деформации земной коры. Они характеризуются катастрофическими последствиями, однако через небольшое в геологическом масштабе время эти последствия становятся малозаметными. Среднечастотные процессы представляют собой движения земной коры в течение длительного времени с масштабом в десятки и сотни лет. Эти движения поддаются инструментальным измерениям [9], являются причинами возникновения напряжений в земной коре и могут привести к развитию медленных и быстрых геодинамических процессов: землетрясений, извержений грязевых вулканов; к возникновению оползней; изменению гидрологического режима поверхностных источников и водоемов, дебита скважин; и другим, существенным для хозяйственной деятельности, явлениям. Процессы такого рода обычно сопровождаются образованием разломов и формированием трещиноватой структуры [10]. Учитывая историю возникновения Каспийского моря и колебания уровня моря, можно сделать вывод о происходящих в настоящее время в регионе глобальных геодинамических процессах, оказывающих влияние на природную среду Каспия, а после начала активной хозяйственной деятельности на шельфе – их неизбежном влиянии на промышленные объекты.

По сейсмической активности дно Каспийского моря можно разделить на две части – сейсмически пассивную северную часть, относящуюся к Скифско-Туранской и Восточно-Европейской платформам, и южную часть – в настоящее время сейсмически активную. Южная часть относится к альпийскому орогенно-складчатому поясу, в котором продолжаются геодинамические процессы (рис. 1). Четкой границы между этими зонами нет. Естественной границей является система тектонических швов, ограничивающих с юга Скифско-Туранскую платформу. Реальная картина более сложная, и сейсмический прогноз должен учитывать продолжающееся движение платформ, проявляющееся, в том числе, в движении границы сейсмической активности в северо-восточном направлении – в сторону строящихся объектов нефте- и газодобычи российского сектора Каспия (рис. 1, б).

Юридическим основанием для выбора комплекса мер обеспечения сейсмической устойчивости объектов являются карты сейсмического районирования. В настоящее время это действующие карты ОСР-2015В [11] (см. [1]). К сожалению, в новой версии карт учтено изменение сейсмической активности в районе Восточной Сибири, но в Каспийском регионе сохранены ранее действовавшие нормы. Согласно ОСР-2015В в северной части Каспия, примыкающей к платформе, выделяется зона высокой интенсивности землетрясений (7–9 баллов), в которой выделены следующие узлы: Восточно-Дагестанский (Махачкалинский), Северо-Апшеронский, Восточно-Апшеронский, Западно-Карабогазский и Красноводско-Челекенский. Южнее этой зоны выражены участки с чередованием областей высокой (7–9 баллов) и относительно низкой (5–6 баллов и менее) интенсивности землетрясений. Наименьшая интенсивность землетрясений приходится на центральный район Южно-Каспийской впадины [12].



а



б

Рис. 1. Тектонические землетрясения в зоне дна Каспийского моря:
а – эпицентры землетрясений Кавказа, примыкающие к морю;
б – прогноз миграции Турецко-Иранского тектонического разлома [12] со скоростью 5 км/год

Отмеченные зоны сейсмической активности по ОСР-2015В можно дополнить данными Ю. В. Ризниченко [13], представленными в виде карт максимальных возможных землетрясений (рис. 1, а) и сейсмической активности (рис. 1, б). Первые иллюстрируют распределение в пространстве областей с землетрясениями одинакового энергетического класса (или одинаковой магнитуды), вторые – удельную плотность распределения очагов землетрясений. Расчет максимально возможной интенсивности землетрясений также включает результаты анализа скоростей тектонических движений, полученных по геодезическим измерениям (рис. 1, б). Анализ имеющихся данных позволяет определить скорость миграции очагов землетрясений на уровне 5 км в год с направлением на северо-восток с осью, проходящей через Восточно-Дагестанский узел.

В связи с предстоящим строительством крупных объектов морской и наземной инфраструктуры, а также предполагаемыми отборами из недр углеводородов ПАО «Нефтяная компания «Лукойл», ОАО «Казахстанкаспийшельф» и другие начали финансировать исследования по проблемам техногенного воздействия на недра (международная программа «Прогноз и контроль геодинамической и геоэкологической обстановок в регионе Каспийского моря в связи с развитием нефтегазового комплекса (Геокаспий – Нефть)» [14]).

Учитывая потенциальную угрозу отмеченных геодинамических процессов, для обеспечения безопасного развития инфраструктуры нефтегазовой промышленности на Каспии требуется разработка мероприятий по инженерно-геологической защите и учету последствий природно-техногенных катастроф, среди которых важнейшими являются следующие:

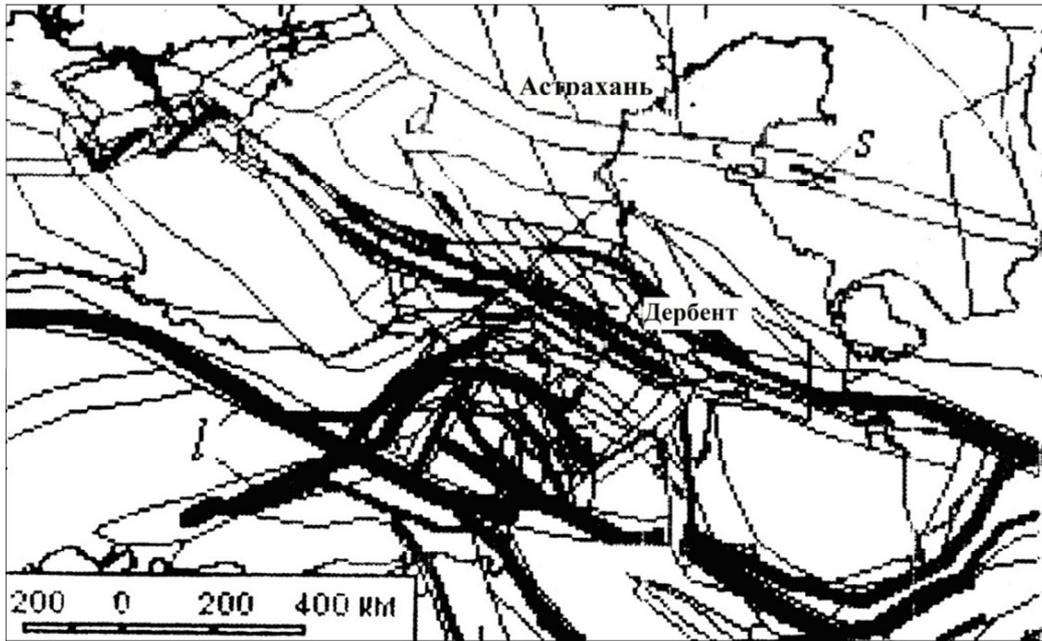
- землетрясения согласно СП 14.13330.2018 [11];
- региональные нетектонические движения как одна из возможных причин колебаний уровня Каспийского моря [15, 16];
- техногенные процессы, приводящие к наведенной сейсмичности и активизации обвально-оползневых явлений [16].

Предлагаемая работа возможна только на уровне межгосударственного сотрудничества и может проводиться на основе уже реализуемых международных проектов, таких как «Геоэкокаспий – Нефть», «Каспий – Геодинамика», «Стратегия геоэкологического мониторинга при освоении месторождений нефти и газа в акваториях Каспийского, Черного и Азовского морей». Проекты могут быть дополнены соответствующими региональными программами, среди них наиболее близкая по тематике Каспийская экологическая программа [17]. Очевидно, важнейшее место в этих проектах должно быть уделено анализу рисков освоения Каспийского моря.

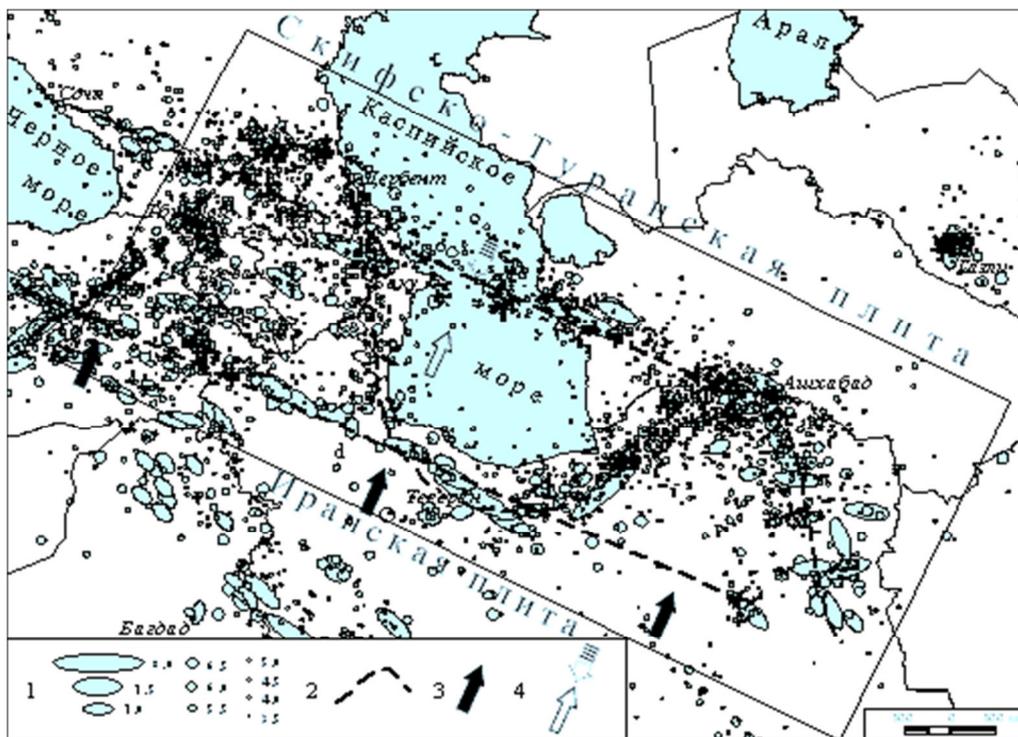
Сейсмическая активность, вызванная грязевыми вулканами

Землетрясения, спровоцированные извержениями грязевых вулканов, наблюдаются чаще всего вдоль субмеридиональных и северо-восточных разломов. Механизм возникновения сейсмической активности, вызванной вулканами, до конца не изучен. Эпицентры землетрясений могут быть и в осадочных породах, и в коре. Более того, землетрясения могут предшествовать извержениям грязевых вулканов и происходить уже после их извержения. Опасность вулканической деятельности вызывает беспокойство, особенно в свете выявленного Л. Э. Левиным и Н. В. Кондорской [18] возрастания сейсмической активности начиная с конца XX в. и миграции эпицентров землетрясений на север. Выводы подтверждаются картами распределения магнитуд M_{\max} для Северо-Западного Кавказа. При этом выделяются зоны пересечения разломов разной ориентировки (рис. 2, а).

Авторами [18] была выполнена дифференциация разломов по прогнозируемым магнитудам землетрясений, согласно которой магнитуды снижаются с юга на север от 7,0 до 3,5 баллов (рис. 1, 2). Таким образом, опыт оценки сейсмичности на территории Среднего Каспия и Предкавказья свидетельствует, что развитие нефтегазовой индустрии (буровые платформы, нефтепроводы, нефтехимические заводы и т. д.) в Каспийском регионе нуждается в опережающем изучении природы сейсмичности с высокоточным прогнозом положения сейсмоопасных узлов и зон (рис. 3).



а



б

Рис. 2. Тектонические землетрясения Среднего и Южного регионов Каспия и сопредельных территорий за период 1931–1994 гг.: а – тектонические разломы на дне Каспия и сопредельных территориях Северного Кавказа; б – сейсмичность дна Каспия и сопредельной территории: эллипсами изображены очаги всех известных землетрясений с магнитудой $M = 6,8$ и выше, сгруппированных (нормированных) по интервалам $0,5 \pm 0,2$ единицы магнитуды (т. е. $7,0 \pm 0,2$; $7,5 \pm 0,2$; $8,0 \pm 0,2$; $8,5 \pm 0,2$), в реальной ориентации и протяженности таких очагов; условными окружностями проиллюстрированы эпицентры землетрясений с магнитудой M от $6,5 \pm 0,2$ до $4,5 \pm 0,2$; 1 – очаги землетрясений разных энергетических классов и магнитуд; 2 – оси сейсмоактивных структур; 3, 4 – направление перемещения Иранской плиты и литосферы Южного и Северного Каспия

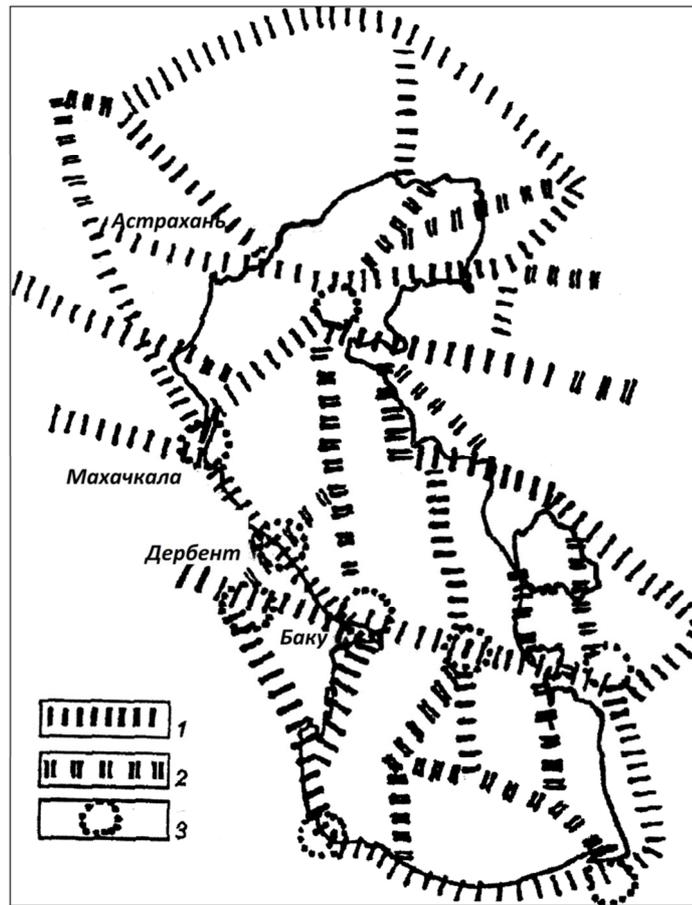


Рис. 3. Тектонический и геологический каркас Каспийского региона:
 1 – региональные и субрегиональные разломные структуры, влияющие на формирование биосферных зон; 2 – то же, предполагаемые; 3 – крупнейшие тектонические узлы, влияющие на природные и техногенные процессы

Логично предположить, что интенсивная разработка месторождений нефти или газа на шельфе Каспийского моря может спровоцировать катастрофические геодинамические явления. Сопровождающее отбор нефти и газа падение пластовых давлений может нарушить сложившееся неустойчивое равновесие. В мировой практике такие явления хорошо известны. Так, в таблице приведены данные по инициированию сейсмических процессов разработкой месторождений нефти и газа [19].

Наведенные события на разрабатываемых месторождениях углеводородного сырья

Месторождение, начальное пластовое давление	Вид техногенного воздействия (начало разработки месторождения)	Глубина резервуара (глубина очагов землетрясений), м	Количество лет от начала разработки до начала событий	Максимальная магнитуда М (количество событий), энергетический класс
Газовое месторождение Лак (Франция), $P_{пл} = 67$ МПа [16]	Отбор газа (1957 г.)	3 500–4 500 (2 500–3 500)	12	М = 4,2 (до 160 в год, всего более 1000) К = 11,6
Нефтяное месторождение Rangely (США), $P_{пл} = 17$ МПа [15]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт (1943 г.)	1 830 (1 800–3 550)	19	М = 3,4 (976 за 1962–1970 гг.)
Нефтяное месторождение Gobles (Канада) [15]	Отбор нефти, нагнетание воды в пласт (1960 г.)	884 (900)	19	М = 3,5 (478 за 1980–1984 гг.)
Газовое месторождение Fashing (США), $P_{пл} = 35,2$ МПа [16]	Отбор газа (1958 г.)	3 400 (1 000–4 500)	16	М = 4,3 К = 11,7

Месторождение, начальное пластовое давление	Вид техногенного воздействия (начало разработки месторождения)	Глубина резервуара (глубина очагов землетрясений), м	Количество лет от начала разработки до начала событий	Максимальная магнитуда М (количество событий), энергетический класс
Газовое месторождение Газли (Узбекистан), $P_{пл} = 17$ МПа [16]	Отбор газа (1964 г.)	800–1 350 (15 000–20 000)	12	М = 6,8–7,3 (11 за 1976–1990 гг.) К = 16,6
Старогрозненское нефтяное месторождение (Россия), $P_{пл} = 70$ МПа [16]	Отбор нефти, нагнетание воды (1963 г.)	4 000 (2 500–9 000)	8	М = 4,7 (22 за 1971–1973 гг.)

В связи с отсутствием обобщенной информации по геодинамике Каспия и соответствующих нормативных документов при разработке проектов нефтегазодобывающих комплексов, скважин и коммуникаций не учитывалось современное геодинамическое состояние недр. К сожалению, землетрясения и другие проявления уже приводили к возникновению аварийных ситуаций с повреждением эксплуатационных скважин.

Землетрясения (даже в сейсмически безопасных районах) происходят обычно после падения пластового давления и идут с задержкой на 15–20 лет после начала эксплуатации месторождений [13]. В качестве примера можно привести Газлийские землетрясения в 1976 и 1984 гг. (начало эксплуатации месторождения – в 1962 г.), Кумдагское землетрясение 1983 г. (спустя 20 лет после начала разработки нефтяного месторождения), Нефтегорское землетрясение в 1995 г. (через 30 лет после начала разработки Первомайского нефтяного месторождения).

К основным видам повреждений технических систем при воздействии природно-техногенных геодинамических событий можно отнести деформации и разрушения наземных сооружений и объектов, нарушение герметичности и отрыв колонн скважин за их деформации в зонах разломов, сдвиги массивов горных пород, сильную деформацию коллекторов с нарушением целостности кровли пласта. Даже незначительные деформации соляного купола со временем могут стимулировать процесс трещинообразования. Деформациям и разгерметизации подвергаются газо- и нефтегазотрубопроводы, емкости с отходами и продуктами переработки и т. д.

Деформационные процессы уже наблюдаются в регионе. Современные движения разломов в пределах Тенгизского нефтяного месторождения [20] в вертикальном направлении достигают 5 см/год, что выявлено в результате инструментальных замеров. В Терско-Каспийской нефтегазоносной провинции наблюдаются и вертикальные и горизонтальные смещения со скоростью до 6–7 см/год. При этом напряжения в зонах разломов достигают 10–20 МПа, эти данные уже сейчас должны учитываться при проектировании объектов нефтегазодобычи и транспортировки сырья [21].

Техногенные воздействия на геодинамические процессы накладываются на естественные природные сдвиги, взаимно влияя и иногда усиливая их. Активизация тектонической активности в Каспийском регионе наблюдается с различной периодичностью: 22, 11 и 2–3 года. Кроме того, существует 60-летний цикл, сопровождавшийся высокой сейсмоактивностью в конце 20–30-х гг. прошлого века. Повторившееся здесь в конце 80-х гг. (к этому району относится Спитакское землетрясение, декабрь 1988 г.) определяет 60-летний цикл сейсмической активности в данном регионе [22].

Изменения в земной коре оказывают значительное влияние на режим осадочного чехла дна Каспийского моря. В регионе наблюдается зависимость уровня воды от направленности современных геодинамических процессов. Рост дебитов скважин совпадает с пиками тектонической активности, сопровождающейся горизонтальным сжатием земной коры, и дебиты заметно падают в периоды стабилизации тектонической активности дна Каспийского моря. Сейсмическая активность аналогично связана с извержениями грязевых вулканов и оползнями на свалах глубин.

Цунами в Каспийском море наблюдается достаточно редко. Однако С. Ф. Доценко с соавторами [23] сообщает о 12 каспийских цунами в период с 1743 по 1989 гг. Во время землетрясений 6,7–6,8 баллов высота волн в Каспии составляет 1–2 м. Наиболее опасными в отношении цунами являются районы Апшеронского побережья, Красноводска и Челекена.

Другое явление, создающее риск для объектов, размещаемых в акватории Каспия, это неустойчивость отложений дна Каспия, приводящая к обвалам и оползням. Учитывая продолжающееся движение в зонах разломов и складчатость склонов котловин на дне, проблема актуальна в основном для центральной части Каспия. Эти процессы рассматривались в трудах Л. И. Лебедева, Л. С. Кулаковой, В. А. Горчилина, Е. Г. Маева [24–26]. Также результаты исследований тектонических движений приведены в работах Д. А. Лилиенберга [27] и других исследователей (см. рис. 1, б) [28]. Значительные колебания уровня моря исследователи связывают как совместное влияние климатических и рассматриваемых нами геодинамических процессов [29–31]. Планируемые значительные объемы отбора нефти и газа неизбежно приведут к усилению неустойчивости вследствие падения пластового давления, а неравномерный отбор из разных точек природных коллекторов – к интенсификации подвижек морского дна. Поэтому планы добычи углеводородов необходимо связать не только с извлечением их запасов, но и с потенциальными локальными сдвигами морского дна.

Разломно-блоковый каркас Каспийской впадины также подвержен воздействию, обусловленному внедрением подземных вод суши. Как правило, это происходит в тектонических узлах, отличающихся повышенной тектонической и сейсмической активностью (рис. 3). Применяемые в нефтедобыче закачки воды для поддержания пластового давления усилят процессы подвижек морского дна.

Грязевулканические землетрясения Южного Каспия

Для понимания рисков, вызванных извержением грязевых вулканов, необходимо четко знать причины их возникновения и механизм извержения грязевого вулкана. Одной из характеристик особенностей тектоники дна Каспийского моря в области Среднего и Южного Каспия является широкое развитие в их пределах грязевого вулканизма, который свойствен целому ряду районов земного шара. По определению Л. И. Лебедева и других исследователей [6, 32], грязевой вулкан – это геологическое образование в осадочном отложении над каналом, по которому из земли извергаются газы, вода, обломки горных пород и т. д. более древних, чем осадочные отложения. Каспий является уникальным районом, где сосредоточена основная часть известных грязевых вулканов. Общее число грязевых вулканов на дне Каспия превышает 300 [1].

Из числа проблем, которые может создавать грязевой вулкан, можно выделить несколько неочевидных. При извержении грязевых вулканов происходит выделение углеводородных газов, способных привести к их возгоранию на поверхности. Особую опасность могут представлять гидраты, образующиеся при низких температурах, аккумулирующих выделяющиеся газы, и масштабное выделение этих газов при повышении температуры.

Другим фактором, который в настоящее время недостаточно изучен, является вынос глубинной теплоты и разогрев осадочных пород. Повышение температуры приводит к изменению механических характеристик породы, в первую очередь к повышенной пластичности пород, являясь дополнительным источником аномально высоких пластовых давлений.

Рисунок 2, а иллюстрирует на дне Каспия протяженные зоны грязевулканической деятельности, имеющие значительные размеры. Грязевые вулканы отражаются в рельефе конусовидными формами. Грязевулканическая деятельность вносит свой вклад в уровень геодинамического риска и, по данным Б. М. Панахи [33], сопровождается активной сейсмической деятельностью. Интенсивность грязевулканических землетрясений, сопровождающих извержения, не превышает VI баллов по шкале MSK-64, но может инициировать другие явления, такие как оползни. Количество землетрясений достаточно велико: в Апшероно-Прибалханской зоне – 317 толчков; в области Бакинского архипелага – 65 толчков; в области западной Туркмении – 54 сейсмических события. По данным автора [34], повторяемость грязевулканических землетрясений на дне Каспия для периода 100 лет и средних грунтов составляет I–VII баллов; для периода 1 000 лет – VII–VIII баллов; для периода 10 000 лет прогнозная оценка магнитуд максимальных грязевулканических землетрясений составляет VIII ± I балл. В качестве иллюстрации повторяемости грязевулканических землетрясений можно привести землетрясения на банке Кумани Бакинского архипелага, которые происходили в 1861, 1927 (дважды), 1928, 1939, 1950 и 1959 гг. [35, 36]. Установлено, что грязевые вулканы активизируются при тектонических движениях и мигрируют вслед перемещению сеймотектонической активности. Как отмечалось

ранее, первая волна сейсмической активности распространяется с юга на север, со стороны Большого Кавказа, со скоростью от 2 до 7 км/год (см. рис. 1, б). Вторая волна – от Центрального Кавказа в двух направлениях – восточном и западном, в сторону Каспийской и Черноморской впадины соответственно. Скорость распространения второй волны по дну Каспийского моря составляет 22–27 км/год. Характерно, что смена противоположных тектонических режимов совпадает по времени с изменением уровня воды Каспийского моря [30, 31].

Характеристика районов нефтегазодобычи на дне Каспийского моря

В российском секторе Каспия в 1999 г. на месторождении Хвалыньское началось поисковое бурение, результатом которого стало открытие и дальнейшее освоение нефтегазоконденсатного месторождения с геологическими ресурсами 250–300 млн т УТ [37, 38]. Севернее, на поднятии Широтное, начато освоение нефтегазоконденсатного месторождения им. Ю. Корчагина с геологическими запасами 180 млн т УТ. Кроме того, открыты и начинают осваиваться залежи на поднятиях «170 км», Ракушечное и Сарматское. Ресурсы последних оцениваются в суммарном объеме около 6,7 млрд т УТ [39].

В казахстанском секторе Каспийского моря действует консорциум «Казахстанская международная шельфовая операционная компания», который организует добычу углеводородов в районах Восточного и Западного Кашагана. К освоению привлечены такие компании, как AGIP, EXXON MOBIL, SHELL, TOTAL FINA ELF, BP AMOCO и др. На Восточном Кашагане суммарные геологические запасы месторождения составляют 1,4–2,5 млрд т нефтяного эквивалента, на Западном Кашагане геологические запасы месторождения находятся в пределах от 0,8 до 1,5 млрд т нефтяного эквивалента [40].

В туркменском секторе Каспия, по данным энергетического управления США, запасы углеводородов составляют 16,3 – 18,4 млрд т нефтяного эквивалента.

В азербайджанском секторе Каспия запасы месторождения Азери-Чираг оценены в 730 млн т нефтяного эквивалента [41, 42], на площадях Дан-Улдузу и Ашрафи предполагались запасы, содержащие до 140 млн т нефтяного эквивалента извлекаемых углеводородов [43], на поднятии Шахдениз открыто достаточно крупное газоконденсатное месторождение [44]. Согласно прогнозам рисков освоения шельфа Каспия вызывают опасение полученные в азербайджанском секторе новые данные о большом числе неизвестных ранее грязевых вулканов и газовых выбросов в области перспективного освоения морского дна.

Анализируя имеющиеся данные о перспективных и разведанных месторождениях, можно выделить характерный набор рисков, в условиях которых проводится в настоящее время разведка и планируется освоение запасов углеводородов на дне глубоководных частей Каспия:

- работа глубоководных буровых платформ, рассчитанных на эксплуатацию на глубинах моря от 200 до 1 000–1 100 м;
- нарастающая сложность освоения месторождений;
- высокая вероятность газовых прорывов;
- высокая подвижность осадков в придонном слое;
- снижение вероятности открытия новых нефтяных и повышение вероятности открытия газовых и конденсатных залежей, более сложных в освоении и с более высокими рисками аварийных ситуаций.

Риск сероводородного загрязнения Каспийского моря

Присутствие сероводорода в разведанных месторождениях дна Каспийского моря резко усложняет работы и увеличивает риски освоения месторождений нефти и газа. Присутствие сероводорода, являющегося отравляющим веществом нервно-паралитического действия, предполагает использование специальных технологий и оборудования, усиление мер безопасности на всех этапах работ. Своевременное обнаружение сероводорода в пластовом флюиде становится первостепенной задачей. Риски возрастают при наличии аномально высоких пластовых давлений, характерных для месторождений Каспия.

В настоящее время мировое освоение месторождений нефти и газа с сероводородом в море весьма ограничено. В частности, Служба управления минеральными ресурсами США устанавливает жесткий регламент работ и определяет следующие предлагаемые меры безопасности:

– классификация участка работ с позиции содержания сероводорода в пластовом флюиде;
 – если месторождение относится к числу содержащих сероводород либо отсутствует информация о содержании сероводорода, разрабатывается план на случай возникновения сероводородной опасности.

На шельфе и прибрежных территориях Каспия осваиваются такие месторождения, как Астраханское, Тенгиз, Королевское и Кашаган, с высоким содержанием сероводорода. Зона перечисленных месторождений охватывает практически всю акваторию Северного Каспия. Сероводород присутствует также вдоль побережья Дагестана и Азербайджана. На востоке Каспия сероводород обнаружен в районе Кара-Богаз-Гола. Многочисленные проявления сероводорода зарегистрированы в центральной части Каспия, в районе центральной части Кавказа, Апшеронского порога, на полуострове Челекен. На этой линии проявления сероводорода присутствуют в выбросах грязевых вулканов и сернистых источников, сероводород обнаружен в добываемой нефти [45]. От одного только месторождения Тенгиз с 1993 г. выбросы в атмосферу составили 136,37 тыс. т оксида серы.

На основе имеющихся данных о последствиях аварии на скважинах № 37 (Тенгиз) и № 2 (Прорва) [46] можно сделать вывод, что наиболее опасным событием для объектов нефтегазового комплекса и прилегающих территорий Каспия является неконтролируемый выброс на месторождении Кашаган. В условиях газонефтеводопроявления дебит нефти при имеющемся пластовом давлении может составлять от 1 000 до 10 000 т/сут. Последствия выброса осложняются выделением большого количества сероводорода H_2S и меркаптанов. Для определения степени риска при открытом фонтанировании скважины на месторождении Кашаган было смоделировано загрязнение воздушного бассейна для близкого по составу попутного нефтяного газа Тенгизского месторождения. Согласно расчетам А. А. Куранова, Е. В. Островской и др. [46–48], неконтролируемый выброс на месторождении Кашаган приведет к загрязнению воздушного бассейна на площади 400 км², охватывая всю зону Северного Каспия и юг Астраханской области.

Выводы

1. Каспийское море является перспективным районом добычи углеводородов, имеющим мировое значение. По данным геологоразведки, для Среднего и Северного Каспия характерны значительные запасы нефтяных углеводородов, для Южного Каспия – преимущественно газовые и газоконденсатные.

2. Принятая Конвенция о правовом статусе Каспийского моря (от 12.08.2019 г.) [2] определила деятельность сторон и их ответственность за загрязнение в условиях нефтегазодобычи и за ущерб, причиненный экологической системе Каспийского моря.

3. Конвенция [2] разрешает освоение Каспийского моря при условии соответствия проектов экологическим требованиям и стандартам, закрепленным в международных договорах, согласно которым нефтегазодобыча и связанные с ней риски должны осуществляться на основе анализа и объективной оценки последствий, применения наилучших технологий в целях обеспечения безопасности и сохранения экологических систем Каспия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панасенко Н. Н., Синельщиков А. В., Яковлев П. В. Техногенные риски строительства и эксплуатации нефтегазовых комплексов в акватории Каспийского моря // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2019. № 4. С. 46–59. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-46-59.
2. Конвенция о правовом статусе Каспийского моря. URL: <https://gia.ru/20191001/1559318075.html> (дата обращения: 02.09.2019).
3. Панасенко Д. Н. Международно-правовой режим экосистемного управления природными ресурсами Каспийского моря: моногр. Астрахань: Изд. дом «Астрахан. ун-т», 2007. 363 с.
4. 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).
5. Кутырев В. А. Культура и технология: борьба миров. М.: Прогресс-Традиция, 2001. 240 с.
6. Пейве А. В., Меннер В. В., Павлова Т. Г., Тимофеев П. П. Тепловой режим недр СССР. М.: Наука, 1970. 228 с.

7. Алиев А. А. Грязевые вулканы Каспийского моря // Геология и полез. ископ. Мирового океана. 2014. № 1. С. 33–44.
8. Мазуров Б. Т. Изучение геодинамических процессов на основе моделирования геодезических и гравитационных параметров: дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2007. 254 с.
9. Костенко Н. П. Развитие складчатых и разрывных деформаций в орогенном рельефе. М.: Наука, 1972. 320 с.
10. Лукина Н. В., Караханян А. С., Скарятин В. Д. Линейные и кольцевые структуры Крымско-Кавказской области // Космическая информация в геологии. М.: Наука, 1983. С. 195–207.
11. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах». М.: Минстрой России, 2018. 125 с.
12. Лабазанов Р. Р. Оценка сейсмологической ситуации на территории Чеченской республики // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 5. С. 20–25.
13. Атлас карт сейсмической активности А, максимальных возможных землетрясений Ктах и сейсмической сотрясаемости V_j территории СССР для интенсивности $i = 7, 8$ и 9 баллов с пояснительной запиской / под ред. Ю. В. Ризниченко. М.: Наука, ТГУЦР, 1979. 20 с.
14. Прогноз и контроль геодинамической и экологической обстановок в регионе Каспийского моря в связи с развитием нефтегазового комплекса: материалы Междунар. науч.-организац. семинара по программе «Геокаспий – Нефть» / под ред. Д. Л. Федорова, Л. Н. Солодилова, С. В. Клубова. М.: Научный мир, 2000. 200 с.
15. Сейсмические опасности: тематический том / под ред. Г. А. Соболева. М.: Крук, 2000. 296 с.
16. Ермолаев О. П., Усманов Б. М., Чижикова Н. А. Оценка антропогенного воздействия на бассейновые геосистемы в регионе интенсивной нефтедобычи // Учен. записки Казан. ун-та. 2014. Т. 156. № 4. С. 70–87.
17. Каспийская экологическая программа // Каспийская энциклопедия / сост. И. С. Зонн. М.: Международные отношения, 2004. С. 209–210.
18. Кондорская Н. В., Тушко Т. А. Блоково-слоистая модель земной коры и определение землетрясений Каспийского моря // Физика Земли. 1993. № 7. С. 17–23.
19. Сидоров В. А., Беснятов Б. И., Конценбин Ю. П. Комплекс геофизических методов поиска локальных структур в Нижнем Поволжье. Саратов: Изд-во НВНИИГГ, 1970. 171 с.
20. Панахи Б. М., Каспаров В. А. Вопросы сейсмического режима территории Каспийского моря // Изв. Акад. наук Азерб. ССР. Сер.: Науки о Земле. 1988. № 1. С. 91–98.
21. Levin L. E., Kondorskaya N. V. Heat flow, plate tectonics and seismicity in the Central part of the Mediterranean belt, Abs IASPEI 1997. General Ass / of the Earth's Interior, Thessaloniki, Greece, 1997. P. 92.
22. Кузьменко В. Г., Панасенко Д. Н. Организационно-правовая проблема радиационной опасности ПЯВ в Каспийском регионе // Астраполис. 2003. № 4-5. С. 181–186.
23. Доценко С. Ф., Кузин И. П., Левин Б. В., Соловьев О. Н. Цунами в Каспийском море: сейсмические источники и особенности распространения // Океанология. 2000. Т. 40. № 4. С. 509–518.
24. Горчилин В. А., Лебедев Л. И., Скоробогатько А. Н. Особенности строения верхней части осадочной толщи Среднего Каспия: структура и нефтегазоносность впадины внутренних морей. М.: Наука, 1987. С. 9–31.
25. Кулакова Л. С., Лебедев Л. И. Каспийское море: геология и нефтегазоносность. М.: Наука, 1987. 295 с.
26. Маев Е. Г. Экзогенная складчатость в четвертичных отложениях континентального склона Каспийского моря // Докл. Акад. наук. Сер.: Геология. 1999. Т. 365. № 5. С. 671–673.
27. Лилиенберг Д. А. Новые подходы к оценке современной эндодинамики Каспийского региона и вопросы ее мониторинга // Изв. Рос. Акад. наук. Сер. географ. 1994. № 2. С. 16–36.
28. Касьянова Н. А. Влияние современных геодинамических процессов на уровненный режим Каспийского моря // Бюл. Москов. о-ва испытателей. Отд. геолог. 2001. Т. 76. Вып. 6. С. 3–14.
29. Зубаков В. А. Глобальные климатические события плейстоцена. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 286 с.
30. Иванова Т. П., Трифонов В. Г. Сейсмоструктура и современное колебание уровня Каспийского моря // Геотектоника. 2002. № 2. С. 27–42.
31. Лилиенберг Д. А. Тенденции современной эндодинамики Каспия и изменения уровня моря // Докл. Акад. наук. 1993. Т. 331. № 6. С. 745–750.
32. Лебедев Л. И., Алексина И. А., Кулакова Л. С. и др. Каспийское море: геология и нефтегазоносность. М.: Наука, 1987. 320 с.
33. Панахи Б. М. Сейсмичность областей развития грязевых вулканов (Азербайджана и региона Каспия): автореф. дис. д-ра геолого-минерал. наук. М.: Изд-во Ин-та физики Земли им. О. Ю. Шмидта, 1998. 38 с.
34. Панахи Б. М., Рахманов Р. Р. Грязевулканические землетрясения. Вулканология и сейсмология. М.: Наука, 1993. № 2. С. 98–103.

35. Якубов А. А., Али-Заде А. А., Рахманов Р. Р. и др. Каталог зафиксированных извержений грязевых вулканов Азербайджана за период 1810–1874 гг. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1924. 33 с.
36. Международная тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления / под ред. Е. В. Хаина, В. И. Богданова. М.: Научный мир, 2003. 120 с.
37. Маганов Р., Новиков А., Челоянц Д. Опровергая стереотипы // Нефть России. 2002. № 10-11. С. 104–110.
38. Новиков А. А. Геологический источник оптимизма: перспективы нефтегазоносности Российского Каспия // Нефтегаз. вертикаль. 2002. № 3. С. 80–82.
39. Giunov I. F., Malovtsky Y. P., Senin B. V. New Viewson Geology and Hydrocarbon Potecial of the Central and North Caspian Oil and Gas Summin; Developing and Finaning Major Projects Conference Documentatian The Energy Exchange, London, 2001, D1. P. 1–3.
40. Даукеев С., Куандыков Б. Практика геологоразведки и добычи нефти и газа в условиях экологически чувствительного Северо-Каспийского региона // VNIGRI/AAPG Regional Internat. Conf.: Exploration and Production Operation in Difficult and Sensitive Areas. СПб., 2001. С. 05–1.
41. Федоров Д. Л., Левин Л. Э. Оценка потенциальных ресурсов нефти и газа Южно-Каспийского бассейна // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1999. № 8. С. 2–6.
42. OGJ Newsletter // Oil and Gas Journal. 1998. Vol. 96. N. 27. P. 24–25.
43. Конопляник А., Ложбанидзе А. Каспийская нефть на Евразийском перекрестке: предварительный анализ экономических перспектив. М.: ИГиРГИ, 1998. 140 с.
44. Геологическое изучение недр и недропользование // Экспресс-информ. М-ва природ. ресурсов Рос. Федерации. 1999. № 10. С. 25–26.
45. Глумов И. Ф., Маловицкий Я. П., Новиков А. А. и др. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. 342 с.
46. Диаров М. Д. и др. Экология и нефтегазовый комплекс: в 5 т. Алматы: М-во образования и науки Респ. Казахстан; АУНИГ им. Сафи Утебаева; Науч. центр регион. эколог. проблем, 2003. Т. 1. Тенгиз и Кашаган. 443 с.
47. Дризо Е. А., Диаров М. Д., Большов А. А. и др. Загрязнения нефтью акватории Северо-Восточного Каспия и его возможные последствия // Проблемы экологии Западного Казахстана и утилизация отходов: тезисы докладов Регион. науч.-техн. конф. (Атырау, февраль 1996 г.). Атырау: Изд-во АУНИГ, 1996. 217 с.
48. Панасенко Д. Н. Международно-правовая интеграция прикаспийских государств на основе Тегеранской конвенции для преодоления браконьерства осетровых // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та, 2006. № 5 (34). С. 263–272.

Статья поступила в редакцию 02.03.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Покусаев Михаил Николаевич – Россия, 414056, Астрахань, Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой эксплуатации водного транспорта; pokusaevmn@mail.ru.

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 CASPIAN OFFSHORE AREA DEVELOPMENT

M. N. Pokusaev¹, N. N. Panasenko¹, A. V. Sinelshchikov², P. V. Iakovlev³¹ Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation² Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,
Astrakhan, Russian Federation³ Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article presents a detailed analysis of the technogenic risks in building and operating oil and gas complexes in the offshore area of the Caspian Sea and actualizes the problem of the Caspian environmental crisis, the possible measures for preventing and minimizing the negative consequences from the extensive offshore oil and gas production for the ecosystem being considered. The geothermal regime of the ground of the Caspian Sea has been analyzed in respect of the deep-earth processes. The bottom of the Caspian Sea is rather varied, hence, the risks for constructing facilities in the area under development are possible. The surface, underwater and island mud volcanoes formed by the large longitudinal and transverse tectonic disturbances pose a threat to oil production and transportation facilities. The tectonic processes of the bottom of the Caspian Sea are studied in detail. It has been stated that the global geodynamic processes are taking place in the earth's crust of the region affecting the natural environment of the Caspian Sea, which will inevitably affect the industrial objects on the shelf. The Caspian Sea ground is divided into two parts in terms of seismic activity: the seismically inactive northern part (the Scythian-Turanian platform and the East European platform) and the southern part (alpine orogenic-folded belt) that is currently seismically active. The diagrams of possible earthquakes and seismic activity in the bottom area of the Caspian Sea are presented. Since the mechanism of the developing seismic activity caused by volcanoes is not fully examined, there has been substantiated the need to prognose precisely the location of hazardous zones and joints in connection with the development of the oil and gas industry. The tectonic and geological frame of the Caspian region has been illustrated; the regional fractures that influence the formation of biosphere zones and the largest tectonic joints that affect natural and man-made processes are noted. Particular attention is paid to the risks of the hydrogen sulfide pollution of the Caspian Sea. Conclusions are drawn about the prospects for the development of the Caspian, which is rich in oil and gas reserves; on the need to ensure safety and reduce losses in the ecological system of the Caspian Sea.

Key words: the Caspian Sea, seabed, management, sustainable development, oil production, risk, natural and man-made hazards, earthquakes, mud volcanoes.

For citation: Pokusaev M. N., Panasenko N. N., Sinelshchikov A. V., Iakovlev P. V. Technogenic risks of Caspian offshore area development. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;4:36-52. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-36-52.

REFERENCES

1. Panasenko N. N., Sinel'shchikov A. V., Iakovlev P. V. Tekhnogennyye riski stroitel'stva i ekspluatatsii neftegazovykh kompleksov v akvatorii Kaspiiskogo moria [Technogenic risks of construction and operation of oil and gas complexes in Caspian Sea]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2019, no. 4, pp. 46-59. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-46-59.
2. *Konventsiya o pravovom statuse Kaspiiskogo moria* [Convention on legal status of Caspian Sea]. Available at: <https://ria.ru/20191001/1559318075.html> (accessed: 02.09.2019).
3. Panasenko D. N. *Mezhdunarodno-pravovoi rezhim ekosistemnogo upravleniya prirodnymi resursami Kaspiiskogo moria: monografiya* [International legal regime of ecosystem management of natural resources of Caspian Sea: monograph]. Astrakhan', Izd. dom «Astrakhanskii universitet», 2007. 363 p.
4. *Povestka dnia na XXI v.* [Agenda for XXI century]. *Materialy Konferentsii OON po okruzhaiushchei srede i razvitiu (Rio-de-Zhaneiro, 03-14 iyunia 1992 g.)*. Rio-de-Zhaneiro, 1993. 417 p. Available at: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml (accessed: 02.09.2019).
5. Kutyrev V. A. *Kul'tura i tekhnologiya: bor'ba mirov* [Culture and technology: struggle of worlds]. Moscow, Progress-Traditsiya Publ., 2001. 240 p.

6. Peive A. V., Menner V. V., Pavlova T. G., Timofeev P. P. *Teplovoi rezhim nedr SSSR* [Thermal regime of Earth interior of USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 228 p.
7. Aliev A. A. Griazevye vulkany Kaspiiskogo moria [Caspian Sea mud volcanoes]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*, 2014, no. 1, pp. 33-44.
8. Mazurov B. T. *Izuchenie geodinamicheskikh protsessov na osnove modelirovaniia geodezicheskikh i gravitatsionnykh parametrov: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Study of geodynamic processes based on modeling of geodetic and gravitational parameters: diss. ... dr. tech. sci.]. Novosibirsk, 2007. 254 p.
9. Kostenko N. P. *Razvitie skladchatykh i razryvnykh deformatsii v orogennom rel'efe* [Development of folded and ruptured deformations in orogenic relief]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 320 p.
10. Lukina N. V., Karakhanian A. S., Skariatina V. D. Lineinye i kol'tsevye struktury Krymsko-Kavkazskoi oblasti [Linear and ring structures of Crimean-Caucasian region]. *Kosmicheskaiia informatsiia v geologii*. Moscow, Nauka Publ., 1983. Pp. 195-207.
11. SP 14.13330.2018 «*Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh*» [SP 14.13330.2018 Construction in seismic areas]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2018. 125 p.
12. Labazanov R. R. Otsenka seismologicheskoi situatsii na territorii Chechenskoii respublikii [Assessment of seismological situation on territory of Chechen Republic]. *Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*, 2013, no. 5, pp. 20-25.
13. *Atlas kart seismicheskoi aktivnosti A, maksimal'nykh vozmozhnykh zemletriasenii Kmax i seismicheskoi sotriasaemosti Vj territorii SSSR dlia intensivnosti i = 7, 8 i 9 ballov c poiasnitel'noi zapiskoi* [Atlas of maps of seismic activity A, maximum possible earthquakes Kmax and seismic shaking Bj of USSR for intensity i = 7, 8 and 9 with explanatory note]. Pod redaktsiei Iu. V. Riznichenko. Moscow, Nauka Publ., TGUTsR, 1979. 20 p.
14. Prognoz i kontrol' geodinamicheskoi i ekologicheskoi obstanovok v regione Kaspiiskogo moria v sviazi s razvitiem neftegazovogo kompleksa [Forecast and control of geodynamic and ecological conditions in Caspian Sea region in connection with development of oil and gas complex]. *Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-organizatsionnogo seminara po programme «Geokaspii – Neft'»*. Pod redaktsiei D. L. Fedorova, L. N. Solodilova, S. V. Klubova. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2000. 200 p.
15. *Seismicheskie opasnosti: tematicheskii tom* [Seismic hazards: thematic volume]. Pod redaktsiei G. A. Soboleva. Moscow, Kruk Publ., 2000. 296 p.
16. Ermolaev O. P., Usmanov B. M., Chizhikova N. A. Otsenka antropogennogo vozdeistviia na basseino-vye geosistemy v regione intensivnoi nefte dobychi [Assessment of anthropogenic impact on basin geosystems in intensive oil production region]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta*, 2014, vol. 156, no. 4, pp. 70-87.
17. *Kaspiiskaia ekologicheskaiia programma* [Caspian environmental program]. Kaspiiskaia entsiklopediia / sostavitel' I. S. Zonn. Moscow, Mezhdunarodnye otnosheniia Publ., 2004. Pp. 209-210.
18. Kondorskaiia N. V., Tushko T. A. Blokovo-sloistaia model' zemnoi kory i opredelenie zemletriasenii Kaspiiskogo moria [Block-layered model of earth's crust and determination of earthquakes in Caspian Sea]. *Fizika Zemli*, 1993, no. 7, pp. 17-23.
19. Sidorov V. A., Bespiatov B. I., Kotsenebin Iu. P. *Kompleks geofizicheskikh metodov poiska lokal'nykh struktur v Nizhnem Povolzh'e* [Complex of geophysical methods of searching for local structures in Lower Volga region]. Saratov, Izd-vo NVNIIGG, 1970. 171 p.
20. Panakhi B. M., Kasparov V. A. Voprosy seismicheskogo rezhima territorii Kaspiiskogo moria [Questions of seismic regime of Caspian Sea]. *Izvestiia Akademii nauk Azerbaidzhanskoi SSR. Serii: Nauki o Zemle*, 1988, no. 1, pp. 91-98.
21. Levin L. E., Kondorskaya N. V. *Heat flow, plate tectonics and seismicity in the Central part of the Mediterranean belt, Abs IASPEI 1997*. General Ass / of the Earth's Interior, Thessaloniki, Greece, 1997. P. 92.
22. Kuz'menko V. G., Panasenko D. N. Organizatsionno-pravovaia problema radiatsionnoi opasnosti PIA v Kaspiiskom regione [Organizational and legal problem of radiation hazard of UNE in Caspian region]. *Astrapolis*, 2003, no. 4-5, pp. 181-186.
23. Dotsenko S. F., Kuzin I. P., Levin B. V., Solov'ev O. N. Tsunami v Kaspiiskom more: seismicheskie istochniki i osobennosti rasprostraneniia [Tsunami in Caspian Sea: seismic sources and distribution features]. *Okeanologiya*, 2000, vol. 40, no. 4, pp. 509-518.
24. Gorchilin V. A., Lebedev L. I., Skorobogat'ko A. N. *Osobennosti stroeniia verkhnei chasti osadochnoi tolshchi Srednego Kaspiia: struktura i neftegazonosnost' vpadiny vnutrennikh morei* [Structural features of upper part of sedimentary strata of middle part of Caspian Sea: structure and oil and gas content of basin of inland seas]. Moscow, Nauka Publ., 1987. Pp. 9-31.
25. Kulakova L. S., Lebedev L. I. *Kaspiiskoe more: geologiya i neftegazonosnost'* [Caspian Sea: geology and oil and gas potential]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 295 p.
26. Maev E. G. Ekzogennaia skladchatost' v chetvertichnykh otlozheniiakh kontinental'nogo sklona Kaspiiskogo moria [Exogenous folding in quaternary deposits of continental slope of Caspian Sea]. *Doklady Akademii nauk. Serii: Geologiya*, 1999, vol. 365, no. 5, pp. 671-673.

27. Lilienberg D. A. Novye podkhody k otsenke sovremennoi endodinamiki Kaspiiskogo regiona i voprosy ee monitoringa [New approaches to assessment of modern endodynamics of Caspian region and issues of its monitoring]. *Izvestiia Rossiiskoi Akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 1994, no. 2, pp. 16-36.
28. Kas'ianova N. A. Vliianie sovremennykh geodinamicheskikh protsessov na urovnenyi rezhim Kaspiiskogo moria [Influence of modern geodynamic processes on level regime of Caspian Sea]. *Biulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei. Otdel geologicheskii*, 2001, vol. 76, iss. 6, pp. 3-14.
29. Zubakov V. A. *Global'nye klimaticheskie sobytiia pleistotsena* [Global climatic events of Pleistocene]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1986. 286 p.
30. Ivanova T. P., Trifonov V. G. Seismotektonika i sovremennoe kolebanie urovnia Kaspiiskogo moria [Seismotectonics and modern fluctuations in level of Caspian Sea]. *Geotektonika*, 2002, no. 2, pp. 27-42.
31. Lilienberg D. A. Tendentsii sovremennoi endodinamiki Kaspiia i izmeneniia urovnia moria [Trends in modern endodynamics of Caspian and sea level changes]. *Doklady Akademii nauk*, 1993, vol. 331, no. 6, pp. 745-750.
32. Lebedev L. I., Aleksina I. A., Kulakova L. S. i dr. *Kaspiiskoe more: geologiya i neftegazonosnost'* [Caspian Sea: geology and oil and gas content]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 320 p.
33. Panakhi B. M. *Seismichnost' oblastei razvitiia griazevykh vulkanov (Azerbaidzhana i regiona Kaspiia): avtoref. dis. d-ra geologo-mineral. nauk* [Seismicity of areas of development of mud volcanoes (Azerbaijan and Caspian region): diss. abstr. dr. geo. and miner. sci.]. Moscow, Izd-vo In-ta fiziki Zemli im. O. Iu. Shmidta, 1998. 38 p.
34. Panakhi B. M., Rakhmanov R. R. *Griazevulkanicheskie zemletriaseniia. Vulkanologiya i seismologiya* [Mud volcanic earthquakes. Volcanology and seismology]. Moscow, Nauka Publ., 1993, no. 2, pp. 98-103.
35. Iakubov A. A., Ali-Zade A. A., Rakhmanov R. R. i dr. *Katalog zafiksirovannykh izverzhenii griazevykh vulkanov Azerbaidzhana za period 1810–1874 gg.* [Catalog of recorded eruptions of mud volcanoes in Azerbaijan in 1810-1874.]. Baku, Izd-vo AN Azerb. SSR, 1924. 33 p.
36. *Mezhdunarodnaya tektonicheskaya karta Kaspiiskogo moria i ego obramleniia* [International tectonic map of Caspian Sea and its framing]. Pod redaktsiei E. V. Khaina, V. I. Bogdanova. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2003. 120 p.
37. Maganov R., Novikov A., Cheloiants D. Oprovergaia stereotipy [Refuting stereotypes]. *Neft' Rossii*, 2002, no. 10-11, pp. 104-110.
38. Novikov A. A. Geologicheskii istochnik optimizma: perspektivy neftegazonosnosti Rossiiskogo Kaspiia [Geological source of optimism: oil and gas potential of Russian Caspian]. *Neftegazovaya vertikal'*, 2002, no. 3, pp. 80-82.
39. Giumov I. F., Malovtsky Y. P., Senin B. V. *New Viewson Geology and Hydrocarbon Potencial of the Central and North Caspian Oil and Gas Summin.* Developing and Finaning Major Projects Conference Documentation The Energy Exchange. London, 2001, D1. Pp. 1-3.
40. Daukeev S., Kuandykov B. Praktika geologorazvedki i dobychi nefi i gaza v usloviiakh ekologicheskii chuvstvitel'nogo Severo-Kaspiiskogo regiona [Practice of geological exploration and production of oil and gas in environmentally sensitive North Caspian region]. *VNIGRI/AAPG Regional Internat. Conf.: Exploration and Production Operation in Difficult and Sensitive Areas.* Saint-Petersburg, 2001. P. 05-1.
41. Fedorov D. L., Levin L. E. Otsenka potentsial'nykh resursov nefi i gaza Iuzhno-Kaspiiskogo basseina [Assessment of potential oil and gas resources of South Caspian basin]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh mestorozhdenii*, 1999, no. 8, pp. 2-6.
42. OGJ Newsletter. *Oil and Gas Journal*, 1998, vol. 96, no. 27, pp. 24-25.
43. Konoplianik A., Lozhbandidze A. *Kaspiiskaia nefi' na Evraziiskom perekrestke: predvaritel'nyi analiz ekonomicheskikh perspektiv* [Caspian oil at Eurasian crossroads: preliminary analysis of economic prospects]. Moscow, IGI RGL, 1998. 140 p.
44. Geologicheskoe izuchenie nedr i nedropol'zovanie [Geological exploration of subsoil and subsoil use]. *Ekspress-informatsiia Ministerstva prirodnnykh resursov Rossiiskoi Federatsii*, 1999, no. 10, pp. 25-26.
45. Glumov I. F., Malovitskii Ia. P., Novikov A. A. i dr. *Regional'naya geologiya i neftegazonosnost' Kaspiiskogo moria* [Regional geology and oil and gas potential of Caspian Sea]. Moscow, OOO «Nedra-Biznestsentr», 2004. 342 p.
46. Diarov M. D. i dr. *Ekologiya i neftegazovyi kompleks* [Ecology and oil and gas complex]. V 5 t. Almaty, M-vo obrazovaniia i nauki Resp. Kazakhstan; AUNiG im. Safi Utebaeva; Nauch. tsentr region. ekolog. problem, 2003. Vol. 1. Tengiz i Kashagan. 443 p.
47. Drizo E. A., Diarov M. D., Bol'shov A. A. i dr. *Zagriazneniia nefi'iu akvatorii Severo-Vostochnogo Kaspiia i ego vozmozhnye posledstviia. Problemy ekologii Zapadnogo Kazakhstana i utilizatsiia otkhodov* [Oil pollution of water area of North-East Caspian and its possible consequences. Ecology problems of Western Kazakhstan and waste disposal]. *Tezisy dokladov Regional'noi nauchno-tekhnikheskoi konferentsii (Atyrau, fevral' 1996 g.)*. Atyrau, Izd-vo AUNiG, 1996. 217 p.

48. Panasenko D. N. Mezhdunarodno-pravovaia integratsiia prikaspiiskikh gosudarstv na osnove Tegeranskoi konventsii dlia preodoleniia brakon'erstva osetrovnykh [International legal integration of Caspian states in terms of Tehran Convention for overcoming sturgeon poaching]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, no. 5 (34), pp. 263-272.

The article submitted to the editors 02.03.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pokusaev Mikhail Nikolaevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Water Transport Operation; pokusaevmn@mail.ru.

Panasenko Nickolay 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; sinelschikov@aucu.ru.

Iakovlev 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.

