

УДК 551.46

П.И. Бухарицин¹, С.А. Огородов², В.В. Архипов³

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ДНО СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В УСЛОВИЯХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ И ЛЕДОВИТОСТИ⁴

Морские льды играют важную роль в динамике рельефа прибрежно-шельфовой зоны. Оценка интенсивности воздействий ледяных образований на берега и дно замерзающих морей — важное звено в обеспечении геоэкологической и геотехнической безопасности гидротехнических сооружений. Освоение нефтегазовых богатств Северного Каспия диктует необходимость тщательно исследовать ледовые воздействия. Рассмотрены особенности динамики ледяного покрова Северного Каспия и его воздействие на дно, отличающиеся большой межгодовой и вековой изменчивостью. Температурный режим холодного периода года определяет состояние и торосистость ледяного покрова и соответственно влияет на интенсивность воздействий ледяных торосистых образований на берега и дно. При прочих равных термических условиях ледообразования важный фактор, определяющий интенсивность ледово-экзарационного процесса, — текущее положение уровня моря. Колебания уровня Каспия, достигающие за расчетный период эксплуатации гидротехнических сооружений нескольких метров, способны приводить к существенному перераспределению глубин и перестройке рельефа дна и соответственно менять условия формирования ледяных торосистых образований и экзарации ими дна и берегов.

Ключевые слова: Северный Каспий, изменения климата, колебания уровня моря, рельеф дна, ледяной покров, торосистость, экзарация, подводные трубопроводы.

Введение. В последние два десятилетия на Северном Каспии активизировались работы по освоению запасов углеводородов, что сопровождается проектированием и строительством стационарных платформ, подводных трубопроводов и других объектов нефтегазовой инфраструктуры. При проектировании подводных трубопроводов в замерзающих морях необходимы достоверные оценки интенсивности воздействия ледяных торосистых образований на дно и глубины их внедрения в грунт. Недооценка степени экзарации дна может привести к повреждению инженерных сооружений. Так, подвижки и наслаждение льдин, толщина которых достигала нескольких десятков сантиметров, привели к аварии на нефтепромысле «Кашаган» в казахском секторе Северного Каспия, где льдом были повреждены четыре нитки трубопровода, проложенного по дну без заглубления. В то же время излишнее заглубление объектов сильно удорожает их строительство [Buharitsin et al., 2013].

Морские льды способны оказывать прямое механическое, термическое и физико-химическое воздействие на берега и дно. Среди этих процессов наиболее опасна экзарация — деструктивное механическое воздействие льдов на грунт, связанное с динамикой ледяного покрова, торощением и стамухообразованием под влиянием гидрометеорологических факторов и рельефа береговой зоны

[Огородов, 2011]. В связи с этим оценка интенсивности ледовых воздействий, относящихся к категории опасных природных процессов, является ключевым звеном для обеспечения как геотехнической безопасности нефтегазовых объектов, так и экологической безопасности в акватории.

Исследования экзарации дна ледяными образованиями на Северном Каспии находятся в зачаточном состоянии. Игнорирование этого вопроса нефтегазовыми компаниями, позиция которых в значительной мере усиlena представлениями о глобальном потеплении и грядущей полной деградации ледяного покрова на Каспийском море, привело к тому, что большинство проектов реализовано без должного учета ледовых воздействий на дно и подводные сооружения. Практически все подводные трубопроводы на Северном Каспии не заглублены в грунт.

К настоящему моменту вопрос об интенсивности воздействия ледяного покрова на дно Северного Каспия остается открытым и требует решения. Сложность решаемой проблемы определяется, с одной стороны, слабой изученностью процессов взаимодействия ледяного покрова с грунтовым основанием дна Северного Каспия, а с другой — многогранностью решаемых задач в связи с чрезвычайно высокой изменчивостью положения уровня и ледовитости Каспийского моря.

¹ Институт водных проблем РАН, вед. науч. с., докт. геогр. н., профессор; e-mail: astrgo@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория геоэкологии Севера, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: ogorodov@aha.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория геоэкологии Севера, вед. инж.; e-mail: vyarkhipov@mail.ru

⁴ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-05-00408а).

Для достоверного определения необходимых наук и практике характеристик и детального понимания рассматриваемой в статье проблемы необходимо системное и упорядоченное исследование процессов экзарации дна Каспийского моря. Настоящее исследование является лишь первым шагом на пути к решению поставленных задач.

Материалы и методы исследований. Каспийское море относится к частично замерзающим морям. Ледовые условия Каспийского моря характеризуются большой сложностью и изменчивостью. Его северная мелководная часть замерзает ежегодно, в средней части лед появляется вдоль побережий лишь в суровые зимы, в южной части льда не бывает [Бухарицин, 1987, 1994]. Ледовый период на Северном Каспии продолжается с ноября по март. Полное замерзание и образование припая обычно происходит севернее линии о. Чечень — о. Кулалы (рис. 1). В холодные и экстремально холодные зимы припайный лед может устанавливаться до изобаты 20 м.

Ледообразование на Северном Каспии при солености вод от 2 до 11‰, в отличие от вод арктических и дальневосточных морей, происходит при температуре замерзания в диапазоне от $-0,2$ до $-0,6$ °C [Жигарев, 1997]. Плотность не содержащего включений морского льда здесь ниже, чем в Арк-

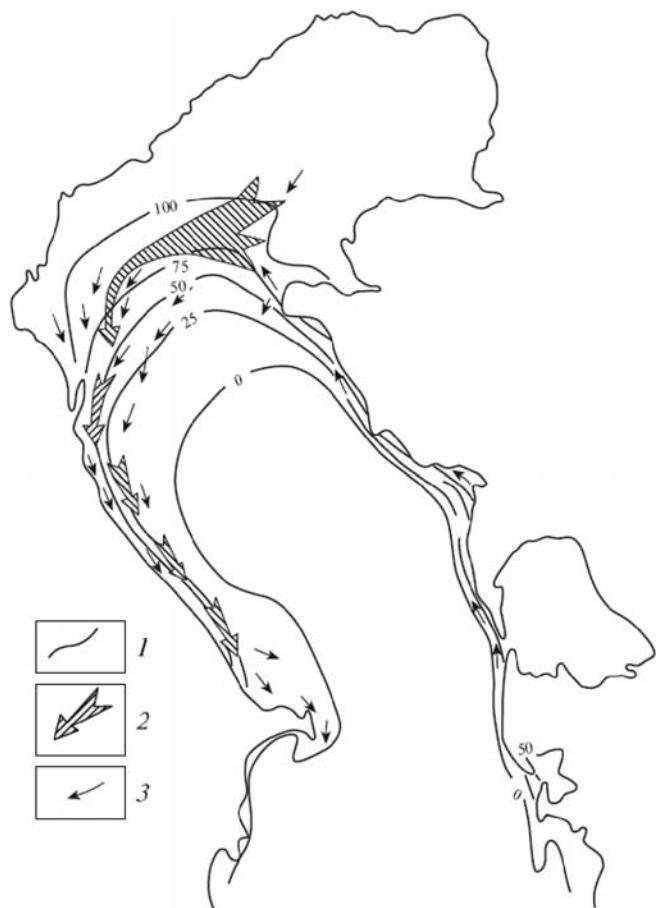


Рис. 1. Вероятность ледообразования и дрейф льда [Гидрометеорология..., 1992]: 1 — изолинии вероятности, %; 2—3 — направление дрейфа (2 — генеральное, 3 — преобладающее)

тике, и составляет ~ 920 кг/м³ [Лукьянова, 1965]. Температурный режим льда сильно зависит от температуры окружающего воздуха. В типичных условиях она составляет от -1 до -2 °C с гомотермическим распределением, а при продолжительных 20-градусных морозах температура в приводном слое льда может понижаться до $-4\ldots-8$ °C со значительным градиентом распределения [Гидрометеорология..., 1992].

Максимальная толщина дрейфующего ровного льда на Северном Каспии даже в очень суровые зимы не превышает 60–70 см, припая — 90–120 см [Бухарицин, 1987]. Однако значительную часть акватории может занимать так называемый наслойенный лед [Бородачев и др., 1994]. Наслойение льда в Каспийском море наблюдается практически ежегодно в результате надвигов одной ледяной пластины на другую. В наслоении, как правило, участвует молодой лед толщиной <30 см. Максимальная толщина наслойенного льда может достигать здесь 3 м [Бухарицин, 1987].

Специфика ледовых условий Северного Каспия — относительно тонкий и «теплый» лед, короткий по сравнению с Арктикой период ледообразования — обуславливает относительно низкие прочностные характеристики ровного льда, а на фоне сильных ветров — условия, особенно благоприятные для его взлома и торожения. Наиболее характерно для Северного Каспия ветровое торожение, которому способствуют подледные течения и сгонно-нагонные колебания уровня. Существенно влияют на процессы торожения мелководность, извилистость береговой линии и сложный рельеф дна с большим количеством подводных банок и кос [Бухарицин, 1984, 1987].

Максимальное количество торосов при всех типах зим наблюдается в зоне контакта припая и дрейфующего льда. В результате того что положение кромки припая в течение холодного сезона постоянно меняется, зона активного торожения захватывает большую площадь. Следствие торосообразования — формирование на границе устойчивого (как и в зоне неустойчивого) припая гряд торосов, перпендикулярных направлению ветра, который вызывает торожение. Для активного торосообразования характерно возникновение торосов, а также появление стамух, сидящих на грунте.

На Северном Каспии различают стамухи осеннего и зимнего происхождения [Бухарицин, 1984, 1987]. Стамухи осеннего происхождения образуются в ноябре–декабре из ниласа и серого льда толщиной 5–15 см. Они имеют, как правило, небольшие размеры в поперечнике и высоту 1–3 м над поверхностью ровного льда. Такие стамухи образуются повсеместно в прибрежной полосе до глубины 2 м. Стамухи зимнего происхождения обычно образуются из серо-белого и белого льда толщиной 20–70 см. Они могут достигать в поперечнике 100–300 м (иногда до 500 м) и высоты 10–15 м. Максимальная зарегистрированная высота

паруса стамухи составила 20 м. Максимальная глубина, до которой документально зафиксировано образование стамух на Каспийском море, — 12 м [Бухарицин, 1984]. Помимо стамух на Северном Каспии также широко распространены навалы льда, погрывающие под собой многочисленные острова и банки, находящиеся выше и ниже текущего положения уровня моря. Они имеют происхождение, аналогичное таковому у стамух, и весной, после очищения акватории ото льда, могут еще достаточно долго сохраняться в рельефе.

Температурный режим Северо-Каспийского региона чрезвычайно неустойчив в зимний период и отличается большой межгодовой изменчивостью, особенно отчетливо выраженной на фоне глобальных изменений климата в последние десятилетия.

Отношение суммы отрицательных значений температуры в теплые и холодные годы может отличаться в 7 раз (рис. 2). Период роста суммы отрицательных значений температуры, имевший место вплоть до 2004 г., сменился ее снижением. Этот фактор непосредственно влияет на состояние и площадь распространения ледяного покрова, положение границы припая, толщину льда и соответственно на количество, размеры и местоположение торосистых образований.

При анализе количества гряд торосов и стамух в рассматриваемом регионе отмечается следующая закономерность (рис. 3): наибольшая торосистость наблюдается в годы со средней ледовитостью холодного периода; в суровые зимы большую часть акватории занимает устойчивый припай, препят-

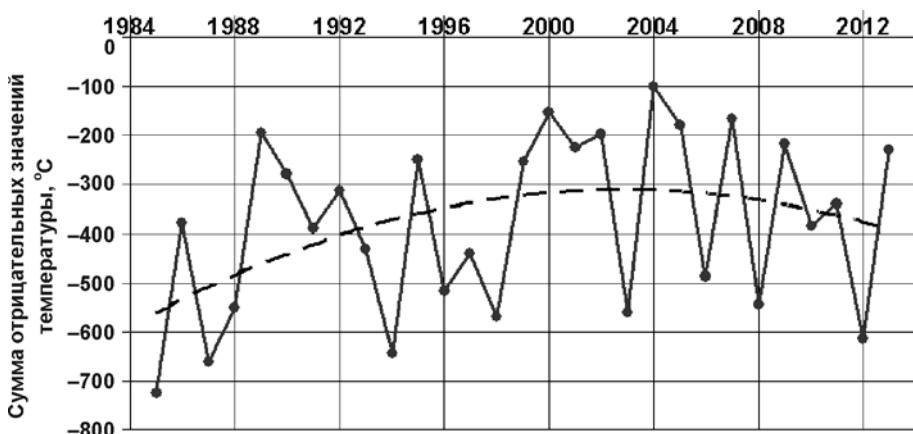


Рис. 2. Сумма отрицательных значений температуры за холодный период по данным ГМС Астрахань, сезон 1984/85 г. — сезон 2012/13 г.

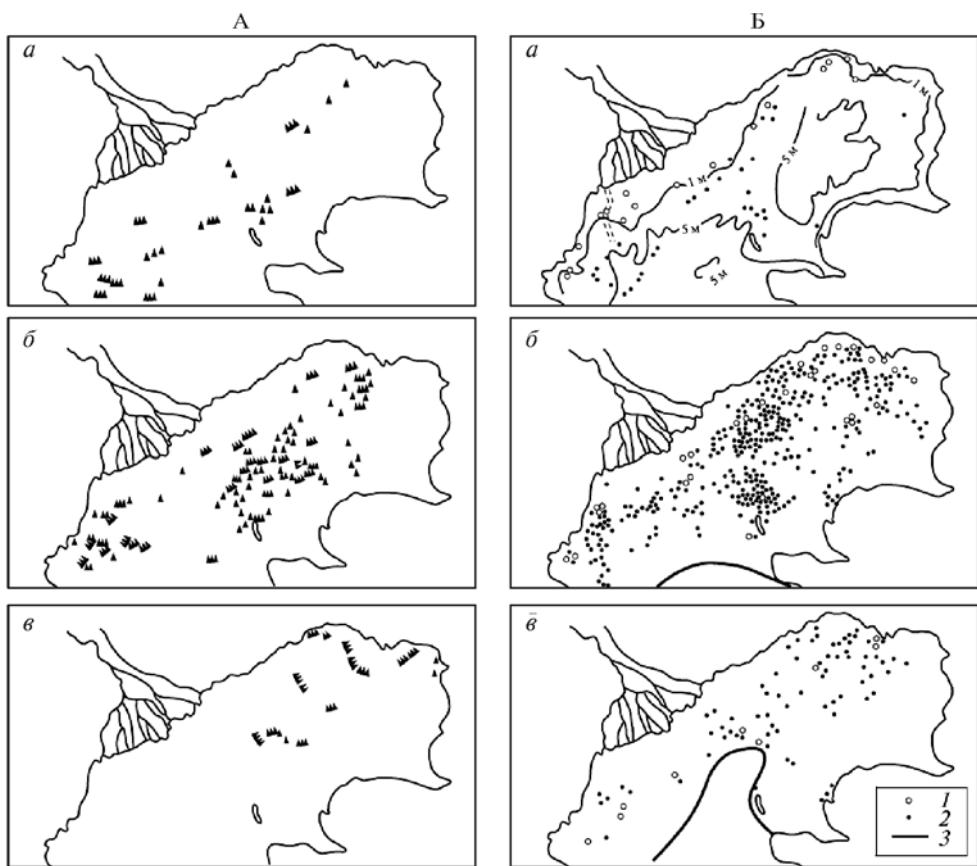


Рис. 3. Расположение гряд торосов (А) и стамух (Б) на Северном Каспии в суровые (а), умеренные (б) и мягкие (в) зимы; стамухи: 1 — осенне-зимние, 2 — зимнего происхождения; 3 — максимальное положение кромки льда, по [Бухарицин, 1984, 1987]

ствующий слишком активному торошению; в годы с мягкими зимами процесс торошения также ограничен не полностью покрытой льдом акваторией и малой толщиной льда.

При прочих равных термических условиях ледообразования важный фактор, определяющий интенсивность ледово-экзарационного процесса, — текущее положение уровня моря. Колебания уровня Каспия, амплитуда которых достигала в XX в. 3,5 м [Клиге, 1997] (рис. 4), в общем случае заметно влияют на рельеф мелководий [Игнатов, Огородов, 1998], в значительной мере определяющий торосистость Северного Каспия [Бухарицин, 1984, 1987].

Колебания уровня Каспия, достигающие за расчетный период эксплуатации гидротехнических сооружений нескольких метров, способны приводить к существенному перераспределению глубин и перестройке рельефа дна [Игнатов, Огородов, 1998] и соответственно менять условия формирования ледяных торосистых образований и экзарации ими дна и берегов [Огородов, 2003, 2011]. Так, в настоящее время, после периода стабилизации уровня моря в 1993—2005 гг., начался период достаточно быстрого снижения уровня Каспия: всего за 7 лет он упал почти на 1 м (рис. 4).

Современное весьма неравномерное распределение глубин на Северном Каспии (рис. 5) — результат развития рельефа в голоцене. В нем запечатлены периоды многочисленных трансгрессий, регрессий и стабилизаций положения уровня Каспийского моря [Бадюкова и др., 1996]. Очевидно, что в случае продолжительной трансгрессии (на 2 м и более) зона наиболее интенсивного ледово-экзарационного воздействия [Огородов, 2011], соответствующая, по нашему мнению, интервалу глубины от 4 до 6 м, сместится на современные более мелководные участки, и напротив, в условиях регрессии эта область сместится вниз по современному подводному склону. Таким образом, в условиях трансгрессии область дна, подверженная ледово-экзарационному воздействию, заметно расширится, а в условиях регрессии резко сократится (рис. 5).

Результаты исследований и их обсуждение. Первым, кто обратил внимание на следы деятельности подвижных льдов на поверхности дна Северного Каспия и опубликовал пионерную статью на эту тему, был выдающийся советский географ, геолог, а впоследствии этнолог и писатель Б.И. Кошечкин [1958]. Полученные им выводы и результаты представляли тогда несомненный интерес и внесли

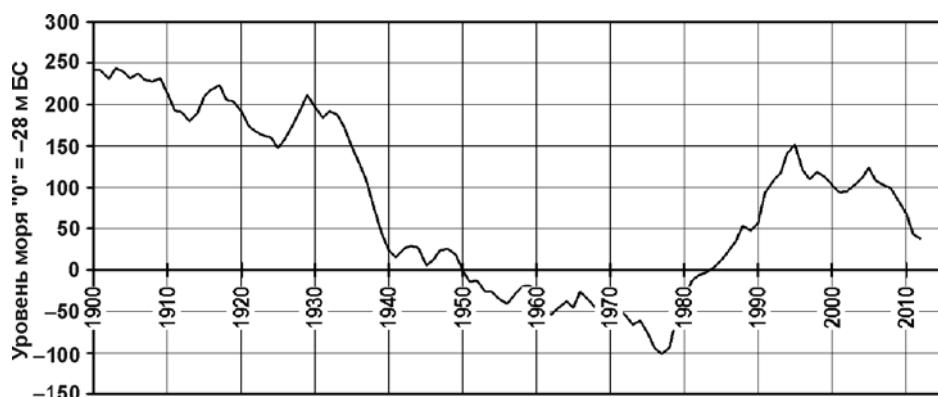


Рис. 4. Колебания уровня Каспийского моря (см), пост Махачкала, за 1900—2012 гг. (ноль соответствует -28 м БС)

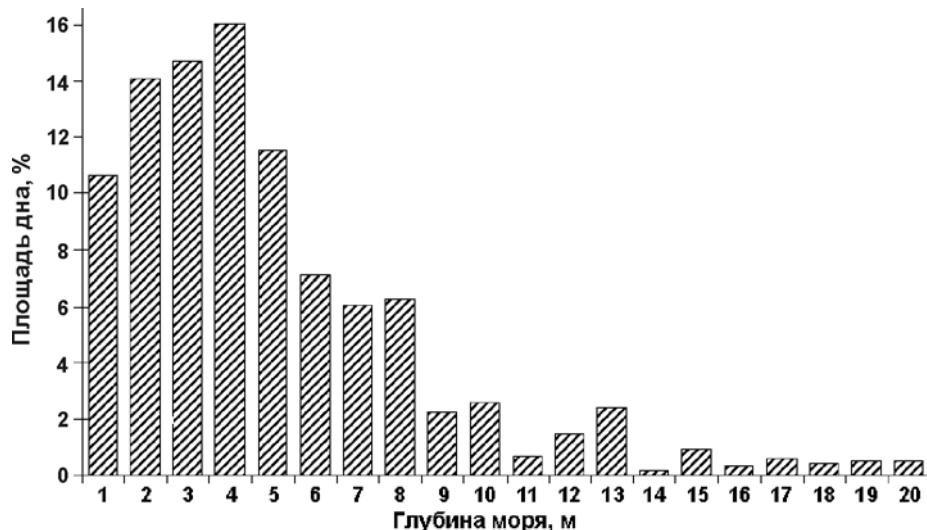


Рис. 5. Распределение глубины в Северном Каспии

значительный вклад в интенсивно развивающуюся теорию геоморфологии и динамики берегов [Лентьев, 1961].

При аэрогеологических работах с применением материалов аэрофотосъемки и аэровизуальных наблюдений в пределах восточного побережья Каспийского моря выявлен специфический рисунок поверхности морского дна [Кошечкин, 1958], на первый взгляд это лишенные закономерности взаимно пересекающиеся светлые борозды и шрамы на фоне более темной поверхности дна (рис. 6). Иногда отмечаются серии таких борозд, строго параллельных и имеющих в плане вид «гребенки». Как правило, такой рисунок поверхности приурочен к мелководным участкам акватории, которые в зимнее время покрываются льдом. Наиболее характерно и четко он выражен в пределах мелководной зоны Мангишлакского залива до глубин, ограниченных 3-метровой изобатой.

Б.И. Кошечкин [1958] предположил, что образование борозд и шрамов связано с выпахивающей деятельностью льда в период его весенних подвижек. Глыбы льда, оторвавшись от края ледяного поля, двигаются в направлении господствующих ветровых течений. При этом они сдирают поверхностный слой илистых отложений и покровов водорослей и образуют за собой «шрамы выпахивания», длина которых достигает 2–3 км. По мере таяния глыбы льда ее масса и как следствие способность механически воздействовать на грунт уменьшаются, а затем глыба всплывает. Этот процесс отражается в морфологии борозд: каждая борозда имеет четко выраженное начало — резкую границу в месте отрыва льдины от края неподвижного ледяного поля, причем чем дальше от места отрыва, тем больше борозда сужается и постепенно выклинивается.

Некоторые борозды представляют собой кривые или ломаные линии, что свидетельствует о постепенном или резком изменении направления дрейфа льда. Борозды оканчиваются валами, образованными из выпаханного донного грунта. Высота некоторых валов превышает глубину моря, и они выходят на дневную поверхность в виде небольших эфемерных островков [Бухарицин, 1987], которые обычно разрушаются после первого весеннего шторма. Анализ распределения основных направлений шрамов и сопоставление этих направлений с направлением преобладающих ветров показали, что движение масс нагроможденного льда подчиняется господствующим ветрам и возбуждаемым ими течениям.

Позднее В.В. Андреевым с соавторами [1971] в ходе эхолотных и водолазных обследований Кулалинской банки (район нефтегазоконденсатных месторождений имени Владимира Филановского и Юрия Корчагина) были обнаружены серии подводных валов и бороздин, вытянутых в юго-восточном направлении, генезис которых они не ре-



Рис. 6. Шрамы выпахивания на морском дне к востоку от о. Кулалы [Кошечкин, 1958]: аэрофотоснимок 1954 г., масштаб ~1:20 000

шились определить однозначно. Валы имели превышение над бороздами до 40–60 см и прослеживались до глубины 15–16 м, наиболее четко они были выражены на глубине 11–12 м. В настоящее время, когда представления об экзарации дна и сохранности форм ледового выпахивания существенно продвинулись, последнее обстоятельство хорошо объясняется тем, что на глубине до 7–8 м имела место значительная волновая переработка ледово-экзарационных форм [Огородов, Архипов, 2010], образовавшихся в предшествующий холодный период, а на глубине выше 15–16 м такие формы на Каспии в принципе формироваться не могут, так как кили дрейфующих торосистых образований здесь не так велики, чтобы достигать столь большой глубины.

При прочих равных условиях наибольшие интенсивность и глубина экзарации дна приурочены к области дрейфующих льдов, тяготеющей к кромке припая, где в течение всего холодного сезона происходит торошение и вдоль которой осуществляется дрейф ледяных полей с вмерзшими в них и достигающими дна торосистыми образованиями [Огородов, 2011]. Вмерзнув в дрейфующие ледяные поля, обладающие огромной массой, они создают наиболее глубокие и протяженные борозды выпахивания (рис. 7). В Каспийском море наблюдения за ледовой обстановкой ведутся постоянно,



Рис. 7. Экзарация дна торосом, вмерзшим в дрейфующее ледяное поле, по [Marchenko et al., 2007]

вместе с тем специальных исследований, направленных на выявление форм ледовой экзарации, проводилось мало.

Многочисленные попытки документально зафиксировать микроформы ледовой экзарации с применением сейсмоакустических профилографов, эхолотов и гидролокаторов бокового обзора (ГБО) не приводили к успеху. Основная причина — проведение съемок в летний период, т.е. когда с момента образования борозд выпахивания прошло уже несколько месяцев, в том числе весенних, характеризующихся как интенсивным волнением, так и высоким содержанием взвеси в волжских водах. За этот период большинство борозд нивелируется и заносится наносами, которые характеризуются здесь относительно высокой подвижностью. Тем не менее навалы морских льдов на берега, стамухи, определенно сидящие на грунте, а также следы экзарации дна на малых глубинах (до 3 м) были документально зафиксированы здесь прямыми наблюдениями [Гидрометеорология..., 1992]. На больших глубинах из-за ограниченной прозрачности морских вод Северного Каспия и практически постоянного в переходный период года волнения формы ледовой экзарации документально вплоть до последнего времени зафиксированы не были.

В марте 2008 г., зимний период которого характеризовался умеренно холодными условиями (рис. 3), в рамках совместной экспедиции Государственного океанографического института имени Н.Н. Зубова и Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по трассе трубопровода от месторождений имени Филановского и Корчагина сразу после очищения акватории от льдов были одновременно проведены гидролокационная съемка (ГБО) и эхолотный промер [Огородов, Архипов, 2010]. Результаты обработки данных ГБО и эхограмм показали наличие четко выраженных в рельфе дна, в том числе и на глубоководном участке (глубина до 12 м), борозд и систем борозд выпахивания (рис. 8), образованных дрейфующими одно- и многокильевыми торосистыми образованиями ямыми, вмерзшими в ледяные поля. Всего на трассе

трубопровода идентифицировано 238 борозд и систем борозд выпахивания. Длина наиболее крупных и четко выраженных борозд (большинство борозд полностью пересекает съемочный коридор), по-видимому, превышает несколько километров; ширина единичных борозд достигает 5 м, систем борозд — 200 м; точную глубину борозд вследствие постоянного волнения установить не удалось, но, судя по данным ГБО и эхограммам, она составляет до 1 м. Помимо линейных форм были обнаружены локальные ямы (рис. 8), оставшиеся от стамух.

Таким образом, на Северном Каспии впервые документально зафиксированы формы ледовой экзарации на глубине от 3 до 12 м [Огородов, Архипов, 2010]. Вместе с тем вопросы определения предельной глубины моря, где возможно выпахивание дна ледяными торосистыми образованиями, так же как и глубина их внедрения в грунт, для Каспия остаются открытыми.

Выводы:

- состояние и динамика ледяного покрова Северного Каспия и его экзарационное воздействие на дно отличаются большой межгодовой и вековой изменчивостью;

- температурный режим холодного периода года определяет состояние и торосистость ледяного покрова, тем самым влияя на интенсивность воздействия ледяных торосистых образований на берега и дно;

- при прочих равных синоптических условиях ледообразования важный фактор, определяющий интенсивность ледово-экзарационного процесса в условиях мелководий Северного Каспия, — текущее положение уровня моря, влияющее на вероятность контакта ледяных торосистых образований с дном;

- колебания уровня Каспия, достигающие за расчетный период эксплуатации гидротехнических сооружений нескольких метров, способны приводить к существенному перераспределению глубин и перестройке рельефа дна и соответственно менять условия формирования ледяных торосистых образований и экзарации ими дна и берегов.

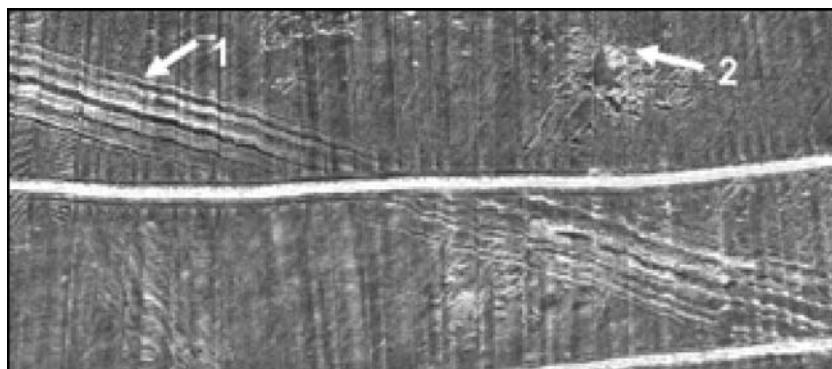


Рис. 8. Фрагмент мозаики ГБО ($0,25 \times 0,7$ км) дна Северного Каспия с отчетливо выраженной системой борозд выпахивания (1) и локальной ямой со следами застамушивания (2), глубина моря ~10 м, по [Огородов, Архипов, 2010]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Андреев В.В., Добрынина Т.А., Игнатов Е.И., Маев Е.Г., Ширяев В.Н.* Рельеф и донные отложения Мангышлакского порога // Комплексные исследования Каспийского моря. Вып. 2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. С. 75–89.
- Andreev V.V., Dobrynnina T.A., Ignatov E.I., Maev E.G., Shiryaev V.N. Rel'ef i donnye otlozheniya Mangyshlakskogo poroga [Relief and bottom sediments of the Mangyshlak Bank], Kompleksnye issledovaniya Kaspiyskogo morya. V. 2. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1971, pp. 75–89 (in Russian).
- Бадюкова Е.Н., Варущенко А.Н., Соловьева Г.Д.* О генезисе рельефа дна Северного Каспия // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1996. Т. 71, вып. 5. С. 80–89.
- Badyukova E.N., Varushchenko A.N., Solov'eva G.D. O genezise rel'efa dna Severnogo Kaspiya [On the genesis of the bottom topography of the Northern Caspian], Byull. MOIP. Otd. geol., 1996, V. 71, no 5, pp. 80–89 (in Russian).
- Бородачев В.Е., Гаврило В.П., Казанский М.М.* Словарь морских ледовых терминов. СПб.: Гидрометиздат, 1994. 127 с.
- Borodachev V.E., Gavriilo V.P., Kazanskiy M.M. Slovar' morskikh ledovykh terminov [Dictionary of sea ice terminology], St.-Peterburg: Gidrometizdat, 1994, 127 p. (in Russian).
- Бухарицин П.И.* Особенности процессов торожения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы. 1984. № 6. С. 115–123.
- Bukharitsin P.I. Osobennosti protsessov torosheniya ledyanogo pokrova severnoy chasti Kaspiyskogo morya [Features of processes of ice hummocking in the northern part of the Caspian Sea], Vodnye resursy, 1984, no 6, pp. 115–123 (in Russian).
- Бухарицин П.И.* Особенности ледового режима и методы прогноза ледовых условий северной части Каспийского моря: Автoref. канд. дисс. Л., 1987.
- Buharitsin P.I. Osobennosti ledovogo rezhima i metody prognoza ledovyh usloviy severnoy chasti Kaspiyskogo morya [Features of ice regime and methods of ice conditions forecasting in the northern part of the Caspian Sea]: Avtoref. kand. diss., Leningrad, 1987 (in Russian).
- Бухарицин П.И.* Опасные гидрологические явления на Северном Каспии // Водные ресурсы. 1994. Т. 21, № 4–5. С. 444–453.
- Buharitsin P.I. Opasnye gidrologicheskie yavleniya na Severnom Kaspii [Dangerous hydrological phenomena in the Northern Caspian], Vodnye resursy, 1994, V. 21, no 4–5, pp. 444–453 (in Russian).
- Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 4. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С. Терзиева и др. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 360 с.
- Gidrometeorologiya i hidrokhimiya morey. T. 4. Kaspiyskoe more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie usloviya [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas. Vol. IV. Caspian Sea. N 1. Hydrometeorological conditions], Red. F.S. Terziev et al. St.-Peterburg: Gidrometizdat, 1992, 360 p. (in Russian).
- Жигарев Л.А.* Океаническая криолитозона. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 320 с.
- Zhilgarev L.A. Okeanicheskaya kriolitozona [The oceanic cryolithozone], Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1997, 320 p. (in Russian).
- Игнатов Е.И., Огородов С.А.* Морфодинамика берегов Каспийского моря в условиях колебаний его уровня // Изв. РГО. 1998. Т. 130, вып. 6. С. 27–38.
- Ignatov E.I., Ogorodov S.A. Morfodinamika beregov Kaspiyskogo morya v usloviyah kolebaniy ego urovnya [Coastal morphodynamics of the Caspian Sea under the conditions of fluctuations of its level], Izv. RGO, 1998, Vyp. 130, no 6, pp. 27–38 (in Russian).
- Клиге Р.К.* Варианты прогнозов положения уровня Каспийского моря: Геоэкологические изменения при колебаниях уровня Каспийского моря // Геоэкология Прикаспия. Вып. 1. М., 1997. С. 14–27.
- Klige R.K. Varianty prognozov polozheniya urovnya Kaspiyskogo moray [Variants of forecast of the Caspian Sea level], Geoekologicheskie izmeneniya pri kolebaniyakh urovnya Kaspiyskogo morya, Geoekologiya Prikasiya, no 1, Moscow, 1997, pp. 14–27 (in Russian).
- Кошечкин Б.И.* Следы деятельности подвижных льдов на поверхности дна мелководных участков Северного Каспия // Тр. лаборатории аэрометодов АН СССР. Т. 6. Л., 1958. С. 227–234.
- Koshechkin B.I. Sledy deyatel'nosti podvizhnih l'dov na poverhnosti dna melkovodnyh uchastkov Severnogo Kaspiya [Traces of the action of the drifting ice on the sea bottom in shallow-water areas of the Northern Caspian], Tr. laboratorii aerometodov Akademii Nauk SSSR, V. 6, Leningrad, 1958, pp. 227–234 (in Russian).
- Леонтьев О.К.* Основы геоморфологии морских берегов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961. 214 с.
- Leont'ev O.K. Osnovy geomorfologii morskikh beregov [Basic geomorphology of sea coasts], Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1961, 214 p. (in Russian).
- Лукьянова Л.В.* Соленость и плотность каспийских льдов // Гидрометеорология Азербайджана и Каспийского моря. Баку, 1965. С. 197–201.
- Lukyanova L.V. Solenost' i plotnost' kaspiyskikh l'dov [The salinity and density of the Caspian ice], Gidrometeorologiya Azerbaydzhana i Kaspiyskogo morya. Baku, 1965, pp. 197–201 (in Russian).
- Огородов С.А.* Роль морских льдов в динамике береговой зоны арктических морей // Водные ресурсы. 2003. Т. 30, № 5. С. 555–564.
- Ogorodov S.A. Rol' morskikh l'dov v dinamike beregovoy zony Arkhicheskikh morey // Vodnye resursy, 2003, V. 30, no 5, pp. 509–518 (in Russian).
- Огородов С.А.* Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. 173 с.
- Ogorodov S.A. Rol' morskikh l'dov v dinamike rel'efa beregovoy zony [The role of sea ice in coastal dynamics], Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 2011, 173 p. (in Russian).
- Огородов С.А., Архипов В.В.* Экзарация дна Каспийского моря ледяными торосистыми образованиями // Докл. РАН. 2010. Т. 432, № 3. С. 403–407.
- Ogorodov S.A., Arhipov V.V. Ekzaratsiya dna Kaspiyskogo morya ledyanymi torosistymi obrazovaniyami [Caspian sea bottom scouring by hummocky ice floes] / Doklady RAN, 2010, V. 432, no 3, pp. 703–707.
- Buharitsin P., Ayazbayev E.* The role of drifting ice in building the bottom landscape and sediment composition in the shallow waters of north Caspian Sea // Materials of the 22nd Intern. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (June 9–13, 2013, Espoo, Finland). Finland, Helsinki, 2013, 4 p.
- Marchenko A.V., Ogorodov S.A., Shestov A.V., Tsvetinskyy A.S.* Ice gouging in the Baydaratskaya Bay: Field studies and numerical simulations // Recent development of Offshore Engineering in Cold Regions. Yue (ed.). AC-07. Dalian, China. June 27–30, 2007. Dalian University Press, Dalian. P. 747–759.

P.I. Bukharitsin, S.A. Ogorodov, V.V. Arkhipov

THE IMPACT OF FLOES ON THE SEABED OF THE NORTHERN CASPIAN UNDER THE CONDITIONS OF SEA LEVEL AND ICE COVER CHANGES

Sea ice can execute direct mechanical, thermal and physical-chemical impact on the coasts and bottom. Among these processes, the most dangerous is ice gouging — mechanical destruction of bottom grounds by sea ice, connected with ice cover dynamics, hummocks and stamukhi formation under the influence of the hydrometeorologic factors and topography of the coastal zone. In the last two decades, exploration of carbohydrate reserves was reactivated within the Northern Caspian Sea region. It includes the planning, design and construction of stationary drilling platforms, underwater pipelines, and other objects of oil and gas infrastructure. For the development of underwater pipelines in freezing seas, reliable assessment of the intensity of the ice hummocky formations' impact on the bottom is necessary; the depths of their penetration into the bottom grounds should be known. In connection to this, the assessment of the ice impact, which can be referred to the category of dangerous processes, is a key element for the geo-technical safety of oil and gas objects, as well as for the ecological safety of the water area. In the present work, features of ice cover dynamics and its impact on the seabed for the northern Caspian Sea are observed. Their main particularity is great interannual and centennial variability. The temperature regime of the cold season determines the conditions and the number of ice hummocks in the ice cover, and therefore influences the intensity of the ice impact on the shores and bottom. With all the other ice forming conditions being equal, current sea level position is an important factor, determining the intensity of ice gouging process. Fluctuations of the sea level reaching several meters during the expected functioning period of the hydrotechnical facilities can lead to significant depth changes and sea bottom relief rework and can accordingly change the conditions of ice hummocks' forming and of the ice gouging of the bottom and shores. At present, the question of the intensity of the ice cover impact on the bottom of the Northern Caspian Sea remains open and requires a solution. The difficulty of the problem is determined, on the one hand, by the lack of studies of the ice cover interaction with the bottom grounds of the Northern Caspian, and, on the other hand, by the complexity of the problems to solve and high variability of the sea level and ice cover extent of the Caspian Sea.

Key words: Northern Caspian, climate change, sea level fluctuation, seabed topography, ice cover, ice hummock density, ice gouging, underwater pipelines safety.