

Исследования каспийских льдов

Каспийское море относится к морям с сезонными (зимними) ледовыми явлениями и отличается большой пространственно-временной неоднородностью развития этих процессов. Разнообразие ледовых условий обусловлено меридиональной протяженностью моря, большим диапазоном глубин и соленостью воды, а также климатическими особенностями разных частей моря. Только в Северном Каспии имеются благоприятные условия для формирования устойчивого ледяного покрова в зимний период (ноябрь-март). В остальных частях моря местный лед образуется только в суровые зимы в мелководных заливах, бухтах и изредка узкой полосой на прибрежном мелководье. Повышение уровня Каспийского моря в конце XX века более чем на два метра привело к существенному изменению хода многих природных процессов в мелководной северной части моря. Сказалось повышение уровня и на ледовом режиме. В последующие годы началось, и по настоящее время продолжается, очередное понижение уровня Каспия, что вновь привело к значительным изменениям в ходе ледовых процессов. Интерес к ледовым исследованиям возрос в последние годы в связи с осуществлением мероприятий по обеспечению поисковых работ и добычей углеводородного сырья на шельфе Северного Каспия.

Исследования каспийских льдов



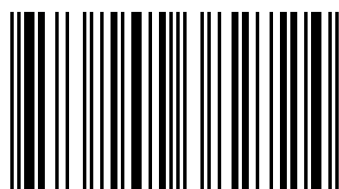
Петр Бухарицин

Исследования каспийских льдов

Ледовый режим Каспия, процессы льдообразования характеристики ледяного покрова методы расчета и прогноза ледовых явлений



Бухарицин Петр Иванович: 1948 г.р, океанолог, д.г.н., профессор, академик РАН и МАНЭБ. В.н.с. ИВП РАН, руководитель Астраханской группы по исследованию экологических проблем дельты Волги; профессор Астраханского ГТУ; г.н.с. Каспийского филиала Института океанологии РАН. Автор свыше 450 научных работ, 25 патентов в области охраны природы Каспия.



978-620-2-38272-4

Бухарицин


Palmarium
academic publishing

Петр Бухарин

Исследования каспийских льдов

Петр Бухарицин

Исследования каспийских льдов

**Ледовый режим Каспия, процессы
льдообразования характеристики ледяного
покрова методы расчета и прогноза ледовых
явлений**

Palmarium Academic Publishing

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

Palmarium Academic Publishing

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-2-38272-4

Copyright © Петр Бухарицин

Copyright © 2019 International Book Market Service Ltd., member of
OmniScriptum Publishing Group

СОДЕРЖАНИЕ

1. Содержание.....	2
2. Предисловие.....	3
3. Исследования морских льдов в целях обеспечения безопасности нефтеразведочных работ на шельфе Северного Каспия	4
4. Физико-статистические методы расчета и прогноза элементов зимнего гидрологического режима низовьев Волги и Северного Каспия.	11
5. Ледовые условия на Нижней Волге и Северном Каспии зимой 2003/2004гг.	54
6. Результаты исследований динамических процессов в ледяном покрове Северного Каспия по многолетним данным ледовых авиаразведок и снимкам ИСЗ	59
7. Гидрометеорологическое обеспечение поисковых работ на шельфе Северного Каспия в зимний период	63
8. Ледовые условия в низовьях Волги и Северном Каспии в умеренную зиму 2009-2010 гг.	66
9. Изучение ледового режима восточной части Северного Каспия в рамках программы проведения фоновых экологических исследований на участке Жамбай Южный – Южное Забурунье	75.
10. Влияние колебаний солнечной активности на изменения климатических условий в Волго-Каспийском регионе на период до 2017 г.	85
11. Роль дрейфующих льдов в формировании рельефа дна и состава донных отложений на мелководьях Северного Каспия	91
12. Использование спутниковых данных при картировании ледяного покрова Северного Каспия	95
13. Роль дрейфующих льдов в формировании рельефа дна замерзающих мелководных водоёмов юга Евразии.....	101
14. Влияние соляных куполов на процессы образования льда в Северном Каспии	111
15. Внутриводный лед на Северном Каспии	117

ПРЕДИСЛОВИЕ

В монографии представлены результаты многолетних исследований автора - русского ученого, исследователя Каспийских льдов, за период с 2000 по 2018 годы, которые ранее были представлены им на международных конференциях и симпозиумах, проходивших в этот период в разных странах:

6 International Conference on Ships and Marine Structures in Cold Regions. 12-14 September 2000, St. Petersburg, Russia (ICETECH'2000);

16 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. August 12-17, 2001. Ottawa, Ontario, Canada (POAC'01);

21 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. July 10-14, 2011, Montreal, Canada (POAC'11);

22 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 9-13, 2013, Espoo, Finland (POAC'13);

22 International Symposium on Ice. Singapore, August 11 to 15, 2014 (IAHR'2014);

23 International Symposium on Ice. April 4, 2016, School of Natural Resources & Environment University of Ann Arbor, Michigan, USA (IAHR'2016);

24 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 11-16, 2017. Busan, Korea (POAC'17);

24 International Symposium on Ice. 409 June, 2016. Vladivostok, Russia (IAHR'2018), а также на других научных форумах.

Монография рассчитана на широкий круг ученых и специалистов.

ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКИХ ЛЬДОВ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НЕФТЕРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ ¹

Каспийское море относится к морям с сезонным ледяным покровом и отличается большим разнообразием ледовых процессов. Являясь серьезным естественным препятствием в осуществлении хозяйственной деятельности человека на море (рыбном и тюленьем промыслах, судоходстве, а в последние годы и при поисковых нефтеразведочных работах на шельфе Северного Каспия) ледяной покров значительно ограничивает их деятельность, создает реальную угрозу их безопасности.

Проводимые в последнее время Россией и Казахстаном в мелководной северной части Каспийского моря (в том числе и в зимний период) поисковые работы побуждают ученых к международному сотрудничеству в изучении современных зимних гидрологических и ледовых процессов в Северном Каспии.

Необходимость и актуальность ледовых исследований заключается еще и в том, что характер и интенсивность ледовых процессов в море существенно изменились в связи с произошедшим в течение последних 20 лет (с 1978г) повышением уровня моря примерно на 2,5 метра. К сожалению именно в эти годы, в связи с распадом СССР научные программы, в том числе и по исследованию каспийских льдов были свернуты, а в последнее время и вовсе прекращены.

В данной работе использованы материалы экспедиционных исследований выполненных в феврале 1996г и феврале-марте 1997г во время совместных казахско-американо-российских ледовых экспедиций, а также карт ледяного покрова, полученных по данным ледовых авиаразведок и при дешифрировании телевизионных снимков ИСЗ "Метеор".

В настоящей статье дается характеристика гидрометеорологических и ледовых условий Северного Каспия в период экспедиции. Публикуются предварительные результаты исследований физических характеристик ледяного покрова и отдельных ледовых образований в мелководном районе моря, при взаимодействии льда с неподвижной вертикальной преградой.

Приводятся некоторые сведения о зимних альгоценозах мелководного района юго-восточной части Северного Каспия. Представлены предварительные данные о видовом составе и биомассе подледного фитопланктона, исследования которого до недавнего времени практически не проводились [2].

Рекогносцировочное авиационное обследование исследуемой акватории было выполнено по инициативе казахской Государственной компании "Казахстанкаспийшельф" 22 февраля 1996 года на самолете Хокер-125, принадлежащем авиакомпании Petroleum Helicopters (рис. 1). В результате выполненной ледовой авиаразведки было определено и нанесено на карту состояние и характеристики ледяного покрова, положение границ припая и плавучих льдов, места образования стамух (мощных торосистых образований сидящих на грунте), заприпайных полыней и т.д. Определен район для будущих ледовых работ.

¹ Research of the sea ice in order to provide safety of oil exploration activity on the shelf of the Northern Caspian / P.I. Buharicin, E.N. Labunskaya // Sixth international conference on ships and marine structures in cold regions ICETECH'2000 (12-14 September, 2000, St-Petersburg, Russia), 2000. - P. 552-555.

Зимой следующего 1997 года экспедиционные работы на льду проводились в период максимального развития ледяного покрова на Северном Каспии с помощью вертолета Белл-212 в районе бывшего ракетного полигона расположенного в море, к северу от мыса Бурунчук (полуостров Бузачи). По данным ИСЗ наибольшего за зиму распространения ледяной покров в Северном Каспии достиг 6 февраля (рис. 2). Кромка плавучего льда проходила с запада на восток по 5-10 метровым глубинам по дуге изогнутой к северу от Аграханского полуострова до бухты Баутино. Плавучий лед преимущественно в виде серо-белого и тонкого белого льда в форме полей и обломков полей сплоченностью 8-10 баллов.



Рис. 1. Самолет «Хокер-125, принадлежащий авиакомпании Petroleum Helicopters.

Граница припая проходила приблизительно по метровой изобате, в генеральном направлении с юго-запада на северо-восток, затем круто заворачивала на юг, в направлении о.Кулалы. Припай преимущественно в виде тонкого белого льда толщиной от 30 до 60 см. Лед ровный и слаботоросистый (преобладающая торосистость от 0 до 2 баллов), наибольшая торосистость отмечена на границе припая и плавучего льда, и составила 3-4 балла. В этой зоне отмечено большое количество мелких и средних стамух, а также крупных линейных образований – многокилометровых гряд торосов, трещин и заприпайных полыней. Заснеженность припая повсеместно не превышала 1 балла.

В период проведения исследований в западной и центральной частях Северного Каспия происходили интенсивные процессы термического и механического разрушения льда. Наблюдалось уменьшение сплоченности дрейфующего под действием ветра льда, образование обширных пространств чистой воды, быстрое и значительное перемещение кромки плавучего льда к северу. Происходило разрушение припая в Гурьевской бороздине.

В районе исследований ледовая обстановка в этот период изменялась незначительно. Лишь к концу экспедиции было отмечено некоторое уменьшение высоты торосов и стамух в среднем на 1,0-1,5 метра от первоначальной, в связи с оседанием и уплотнением слагающих их льдин под воздействием их веса и

начавшегося таяния льда. Появились первые трещины в припае. Подвижек льда и торошения в период работ не отмечалось. Объектами для исследований послужили затопленные на мелководье старые корабли, которые раньше использовались в качестве мишеней для ракет.

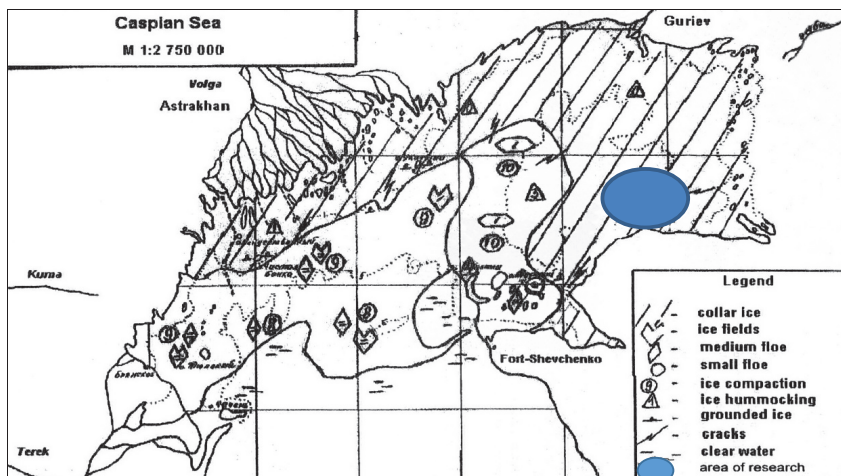


Рис. 2. Ледяной покров на Северном Каспии 6 февраля 1997 г.

Задача исследований – оценка характера и интенсивности взаимодействия дрейфующих льдов с неподвижной, вертикально расположенной преградой (в нашем случае с бортами полузатопленных кораблей). Корабли расположены в море на глубинах 5-6 метров и на расстоянии от берега от 10 до 50 километров (рис.3).



Рис. 3. Ледовые исследования на Северном Каспии.

Эпизодические подвиги и интенсивный дрейф льда под воздействием штормовых ветров преобладающих в это время года западного и восточного направлений, а также сгонно-нагонные колебания уровня моря, в предшествующий экспедиции период, способствовали образованию мощных торосов. Вокруг затопленных кораблей образовались сплошные торосистые поля, а вдоль их бортов – гигантские многослойные навалы из обломков льдин, высота которых составляла от 3-6 до 15 метров над уровнем моря, а их подводные основания достигали дна. Некоторые торосистые образования имеют в плане форму многослойных колец, что объясняется частой сменой направлений дрейфа льдов. Такие образования получили название “кольцевых стамух”. С подветренной же стороны стамух, как правило, образуются пространства чистой воды – полыньи или каналы [1] (рис.4).



Рис. 4. С подветренной же стороны стамух, как правило, образуются пространства чистой воды – полыньи или каналы.

Во время экспедиции были обследованы наслоения льда вокруг трех судов. Подробная геодезическая съемка надводного рельефа ледяной поверхности в окрестностях обследуемых кораблей осуществлялась с помощью электронного теодолита-тахеометра. На выбранных профилях, проложенных радиально через торосистые образования к борту каждого судна, измерялась высота отдельных торосов и впадины между ними, а также размеры, возраст и структура льдин их слагающих. Высота надводной и погруженной частей торосистых образований, а также глубина моря отсчитывались от нулевой поверхности, которая на момент наблюдений соответствовала отметке уровня Каспийского моря минус 26,7 м. абс, и была измерена с помощью системы спутниковой навигации (GPS).

Измерения размеров обломков льдин слагающих стамухи у их основания, посередине, на вершине, а также по слоям позволили выявить некоторую закономерность, которая заключается в следующем. В начальный период возникновения стамухи образуются первые внутренние слои стамухи из обломков льда небольшой толщины и размеров. По мере накопления суммы градусо-дней мороза и связанного с этим процесса термического нарастания толщины льда, во время следующей подвижки льдов образуется очередная слой, который и по высоте торосов и по размерам обломков льдин превосходит предыдущий. Таких слоев в старой стамухе за зиму может образоваться несколько. Ввиду того, что в таком многослойном торосистом образовании обломки льдин набиваются от поверхности до дна, при очередной подвижке ледяное поле может уже не дробиться на мелкие куски, а медленно напоззать, постепенно отрываясь от поверхности воды и образуя ледяной купол. По мере дальнейшего напоззания ледяного поля на внутренние слои стамухи ледяной купол становится все более крутым и наконец лопаается. Огромные ледяные блоки встают почти вертикально, иногда опрокидываются, образуя внешний, самый мощный слой стамухи. Толщина льда в таких льдинах составляет 55-80 см.

Внутри такой кольцевой стамухи оказывается замкнутым некий объем морской воды полностью или частично изолированный на зимний период от остальной акватории моря. Вследствие сравнительно малого объема воды заключенного внутри ледяной ловушки, отсутствием проточности, а также достаточно длительным периодом его изоляции, внутри стамухи могут возникать условия способствующие развитию гипоксии в воде и сероводородному заражению грунта. Вдоль выбранных профилей с интервалом 3-5 метров, с помощью ледового бура были пробурены десятки скважин с целью определения толщины льда в наслоениях, и для исследования рельефа подводной части торосов, характеризующих устойчивость торосистых образований.

Одновременно отбирались пробы воды, льда и грунта, измерялись сопутствующие гидрометеорологические параметры: температура воздуха, воды и льда (по слоям) и др.

Температура воздуха изменялась в пределах: от 10-15 градусов мороза в начале экспедиции до 2-7 градусов мороза – в последующие дни. В связи с этим, соответственно, велик и разброс температур льда по слоям: от минус 10 до минус 0,2 градуса.

Температура воды подо льдом повсеместно была в пределах от 0,0 до минус 1,0 градусов.

Хлорность отобранных проб морского льда в среднем составила 0,35 промилле.

Пробы воды и льда на фитопланктон отбирались в объеме 1 литра и фиксировались 40% формалином до 2% его концентрации. При последующей лабораторной обработке пробы воды сгущались через ядерные фильтры с диаметром пор 0,38 мкм в воронке прямой фильтрации до объема 10 мл. Подсчет клеток проводился в камере Нажжота.

Распределение фитопланктона в пробах воды и льда взятых на анализ в районе ледовых исследований крайне неоднородно. Так, в точке с координатами 45 градусов 41 минута северной широты и 51 градус 41 минута восточной долготы (затопленное судно под условным

названием "Triple") при глубине моря 3 м и толщине наслоенного льда 2 м было обнаружено 30 видов и разновидностей водорослей. Из них: диатомовых – 27; зеленых – 2; синезеленых – 1 вид. Общая численность водорослей составила 77,1 тыс. кл/л; биомасса 0,050 мг/л. Эти показатели гораздо ниже, чем в летне-осенний

период. Доминирует по численности (87%) зеленая *Binuclearia lauterbornii* var. *crassa*, Pr. Lavr. Et Makar. по биомассе диатомовая *Eunothia* sp.

Во второй точке моря (под условным названием "Derrick"), удаленной от первой на расстояние 16 км, в пробах было отмечено лишь 4 вида диатомовых. Их численность не превышала 0,52 тыс. кл/л, биомасса – 0,004 мг/л. Все обнаруженные виды относятся к солоноватоводным формам.

В отобранных в этих точках пробах грунта сероводород отсутствует.

В третьей точке моря с координатами 45 градусов 32 минуты северной широты и 51 градус 27 минут восточной долготы, во внутренней, изолированной зоне кольцевой стамухи, фитопланктон в пробах воды не обнаружен. Интересно, что именно в этой точке моря были получены пробы донного грунта с сильным запахом сероводорода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подвижки и дрейф льдов в мелководной северной части Каспийского моря способны оказывать существенное влияние на хозяйственную деятельность человека. Активизация деятельности нефтяных компаний России, Казахстана, с его зарубежными партнерами, по разведке углеводородного сырья на шельфе Северного Каспия, потребовала серьезного научного, экологического и технического обеспечения этих работ. Результаты совместных ледовых исследований, кратко изложенных в данной статье, нашли свое конкретное практическое применение.

В 1999 году в Астрахани, для нужд казахской компании ОКИОК (Оффшор Казахстан Интернешил Оперейтинг Компани), осуществлена реконструкция типовой погружной буровой баржи, которая была специально адаптирована для работы в уникальных природных и геологических условиях Северо-Восточного Каспия. Подводное основание и борта баржи были модифицированы таким образом, чтобы противостоять ледовым нагрузкам, которые изучались и анализировались на протяжении пяти лет. Проводилось компьютерное моделирование. В результате площадь баржи была увеличена вдвое, добавлены специальные ледовые отражатели с обеих сторон баржи. Отражатели были смоделированы с целью сдерживания давления льда. На месте постановки баржи в море, с обеих сторон от баржи предусмотрена установка системы мощных металлических свай (глубина заглубления в морское дно до 20 метров), назначение которых – сдерживание натиска дрейфующих льдов и активизация процессов торосообразования на дальних подступах от буровой платформы. В результате, вокруг платформы образуются искусственные стамухи, которые сами служат для платформы надежной защитой ото льдов.

Попутные биологические исследования, выполненные в период ледовой экспедиции подтвердили предположения об угнетающем влиянии ледовых процессов на условия формирования и развития биоценозов.

Установлено, что возникновение мелкомасштабных зон гипоксии на мелководье в зимний период, в местах интенсивного торосообразования и скопления стамух, явление весьма распространенное. Оно приводит к резкому сокращению видового состава и общей биомассы фитопланктона в заморных зонах, а в некоторых случаях и к полному его исчезновению.

Поскольку ледовому выпаванию (взаимодействию дрейфующих льдов с морским дном) подвержены мелководные участки морского дна более чем на 50% площади Северного Каспия (свыше 200 квадратных километров), можно утверждать, что эти процессы имеют массовый (хотя и сезонный) характер, и

потому играют важную роль в экологии данного водоема. Наряду с чисто механическим перемещением огромных масс донного грунта происходит угнетение донной, островной и прибрежной растительности и организмов. Например, подводные исследования показали, что каспийские раки не строят своих нор на тех участках морского дна, которые эпизодически подвергаются выпахивающему воздействию льдов.

В период весеннего разрушения ледяной покров может играть и положительную роль, очищая устьевое взморье Волги, Урала и прибрежные мелководья от отмершей прошлогодней растительности, снижая тем самым вероятность возникновения здесь заморных явлений в теплый период года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарицин П.И. Гидрологические процессы в Северном Каспии в зимний период // Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук в форме научного доклада. М., 1996. 61с.
2. Лабунская Е.Н. Ранневесенний фитопланктон Северного Каспия // Вестник АГТУ, вып.2, 1996. с.116-123.

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОГНОЗА ЭЛЕМЕНТОВ ЗИМНЕГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НИЗОВЬЕВ ВОЛГИ И СЕВЕРНОГО КАСПИЯ ²

Родоначальником морских гидрологических и ледовых прогнозов на Каспийском море является И.А. Бенашвили. В 1937 г. он, впервые на Каспии, разработал методику прогноза сроков появления льда. Большой вклад в разработку и совершенствование методов краткосрочных и долгосрочных зимних гидрологических прогнозов внесли Я.А. Тютнев, 1937,1975; Л.Е. Веселова, 1956; Е.С. Каракаш, 1960,1964; О.И. Шереметевская, 1976,1978; А.И. Каракаш, 1965, 1969, 1988; А.К. Барабаш, 1974, 1976 и др. Столь пристальное внимание к разработке зимних гидрологических (ледовых) прогнозов не случайно. Оно объясняется исключительно сложными гидрологическими процессами, на которые оказывают влияние такие факторы, как резко континентальный климат, исключительная мелководность северной части моря, значительные объемные и деформационные (сгонно-нагонные) колебания уровня, специфический ветровой режим. До недавнего времени предпочтение отдавалось разработке традиционных методов прогноза основных ледовых фаз: дат появления и очищения моря ото льда, толщины льда термического нарастания. В последние годы возникла острая необходимость в разработке других, нетрадиционных прогнозов: торосистости льдов, толщины наслоенных льдов, заторов и других зимних гидрологических (ледовых) характеристик и явлений. Некоторые из них до недавнего времени на Каспийском море совсем не разрабатывались. Ниже приведены разработанные автором методы прогноза этих явлений.

МЕТОД КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ОСЕННЕ-ЗИМНИХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ ПО ПУНКТУ ЧЕРНЫЙ ЯР

Осенне-зимние заторно-зажорные явления на Нижней Волге в условиях зарегулированного стока (с 1959 г.) наблюдаются ежегодно. Они связаны с изменением ледово-термического режима Волги, а также режима расходов и уровней воды, последовавшим за сооружением Волжской ГЭС им. XII съезда КПСС и образованием Волгоградского водохранилища. Изучению осенне-зимних заторных явлений на реках СССР посвящены работы многих, советских исследователей. Весьма важные работы по описанию гидрометеорологических условий возникновения заторных явлений и процессов, предшествующих и сопутствующих заторообразованию, геоморфологических особенностей заторных участков рек, а также по рассмотрению состояния изученности процессов заторообразования и рекомендации по предупреждению и борьбе с заторами и зажорами льда выполнены Р.А. Нежиховским [151], А.М. Филипповым [23], Р.В. Донченко [6,9], А.В. Щербак [25], П.М. Лурье [12], Г.Н. Устиновым [22], З.А. Генкиным [4], В.В. Лебедевой и П.Л. Медрес [10], П.П. Ангелопуло [1] и другими авторами. Большое внимание уделено разработке методов прогнозирования заторных явлений и расчетам максимальных заторных уровней. К ним относятся работы Р.А. Нежиховского, Г.В. Ардашевой, Н.П. Саковской [13,14, 16-19], Р.В. Донченко, А.М. Филиппова [8], В.Н. Карнович [10], А.Н. Чижова, А. Г. Дерюгина [24].

² Physical-Statistical Methods of Estimation and Prognosis of the Winter Hydrological Regime Elements in the Northern Caspian Sea / P.I. Buharicin // Proceedings, Volume 1. 16 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions "Ice Engineering Applied to Offshore Regions" (August 12-17, 2001. Ottawa, Ontario, Canada), 2001. - P. 275-282.

Изучению заторно-зajorных явлений на Нижней Волге посвящены работы В. В. Пержинского [5, 20, 21], Р. В. Донченко, М. И. Баюсовой [7], А.К. Барабаш [2, 3]. Статья А.К. Барабаш [2] является одной из первых работ, посвященных изучению максимальных заторных уровней в осенне-зимний период на нижней Волге и в дельте. В этой работе анализируется процесс образования заторов в естественных условиях и в условиях зарегулирования на р. Волге ниже ГЭС им. XXII съезда КПСС, предлагается зависимость для краткосрочного прогноза высоты осенних заторных уровней по пункту Черный Яр.

В последнее время, в связи с проблемой продления навигации на внутренних водоемах СССР в зимних условиях интерес ученых к изучению ледо-термического режима на Нижней Волге значительно возрос.

Необычно высокая водность в бассейне р. Волги осенью 1978 г. и связанные с этим большие сбросы Волгоградского водохранилища, порядка 9-11 тыс. м³/с и более, вызвали значительное повышение уровня на нижней Волге и в дельте. Средние декадные уровни по Астрахани в конце октября и ноябре были на 130 см выше соответственных средних многолетних в зарегулированных условиях и на 150—160 см выше, чем в 1977 г. Такие высокие осенние уровни наблюдались впервые за весь период наблюдений с 1881 г.

Резкие перепады температуры воздуха в период ледообразования в декабре 1978 г. от +6 до -20°С, наряду с высокой водностью задерживали сроки установления ледостава. Продолжительный ледоход на отдельных участках реки привел к таким мощным зимним заторам, каких на нижней Волге раньше не наблюдалось.

Необычный затор образовался в конце декабря в устье протоки Енотаевки. Набивной ледостав в основном русле Волги создал подпор, и часть волжской воды пошла в обход, по протоке. Повышение уровня, а также оттепель в последних числах декабря способствовали вскрытию протоки ото льда. Начавшийся ледоход продолжался более полусуток. Плавающий лед сконцентрировался в устье протоки, так как его дальнейшему продвижению препятствовал ледостав в основном русле. Образовался затор. Значительный подъем уровня в протоке привел к затоплению поймы между протокой и основным руслом. Через 3-4 дня затор в устье протоки Енотаевки разрушился.

Таблица 1.

Экстремальные значения зимних заторных и половодных уровней по пунктам Нижней Волги.

Пункт и период наблюдений	Максимальный заторный уровень набл. зимой 1978-79 гг., см	Многолетние значения заторных зимних уровней, см		Многолетние значения половодных уровней, см	
		минимальный	максимальный	минимальный	максимальный
Каменный Яр(1974-78г.)	842	547	764	736	864
Черный Яр (1959-78г.)	605	380	641	700	860
Енотаевск (1959-78г.)	589	260	484	556	744

Мощный зимний затор образовался в первой декаде января 1979 г. ниже Каменного Яра. Он вызвал резкое, более чем на 3 м, повышение уровня и перемещение воды в Волго-Ахтубинскую пойму (табл. 1).

В это же время, но более плавно, началось повышение уровня, вызванное вторым затором, образовавшимся ниже Черного Яра. Здесь уровень повысился на 1,5 м и почти достиг отметки максимального зимнего заторного уровня за весь период зарегулированного стока, который был отмечен в 1977 г. и составил 641 см (рис. 1).

Образованию столь мощных зимних заторов у Каменного Яра и Черного Яра предшествовал ледоход на р. Волге, продолжавшийся в течение 23 суток. После того, как вылившаяся в пойму вода нашла себе обходной путь, минуя заторы, заторные уровни стабилизировались и сохранялись без существенных изменений до вскрытия.

Образование зимних заторов на участке Каменный Яр - Енотаевск было подтверждено результатами авиаразведок, произведенных в январе - феврале Астраханской зональной и Волгоградской гидрометобсерваториями, наблюдениями с ледокола «Капитан Кругов», выполненными во время экспериментального рейса ледокола по маршруту Астрахань - Волгоград в феврале 1979 г. Толщина в заторах была 85-90 см, местами достигала 140 см. В местах заторов отмечена большая зашугованность русла. Слой шуги подо льдом достигал 3,0-4,0 м, высота торосов 1,5 м.

В период, предшествующий и сопутствующий образованию зимних заторов, среднесуточные сбросы Волгоградского водохранилища были в рабочие дни порядка 8-9 тыс. м³/с, в выходные дни 56 тыс. м³/с,

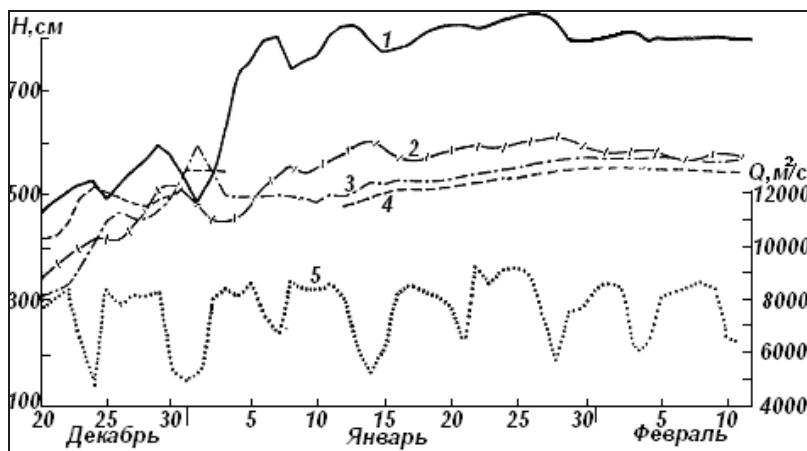


Рис. 1. График хода уровней по пунктам нижней Волги и среднесуточные сбросы Волгоградского водохранилища зимой 1978/79 г.

1 - ход уровня у Каменного Яра, 2 — ход уровня у Черного Яра, 3 — ход уровня у Енотаевска, 4 — ход уровня у Сероглазовки, 5 — сбросы Волгоградского водохранилища.

что соответствует уровню у Черного Яра, равному при открытом русле 280-300 см. Высокая водность, а также резкие колебания температуры воздуха послужили причиной продолжительного ледохода на Нижней Волге и создали предпосылки для образования мощных заторов.

Рассматриваемая в работе А.К. Барабаш [2] зависимость максимальных осенне-зимних заторных уровней у Черного Яра от расходов воды в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища:

$$H_{\text{макс. зат.}} = f(Q)$$

в оперативной работе в представленном виде, к сожалению, эта формула не может быть использована по ряду причин:

- не достаточен ряд наблюдений;
- не учитывается такой важный фактор, как влияние ледовых условий (например, продолжительность ледохода);
- время добегания от Волгограда до Черного Яра, взятое в [2] равным 4 суткам, не является величиной постоянной, она зависит от расходов воды и от ледовой обстановки на данном участке реки.

Исходя из этих соображений, автором предложено ввести в зависимость третью переменную - продолжительность ледохода, а ряд наблюдений с 8 лет продлить до 20 лет (1959-1979 гг.):

$$H_{\text{зат.}} = f(Q; T_{\text{л}}),$$

где Q - средний суточный расход воды в нижнем бьефе ГЭС им. XXII съезда КПСС,

T_л - продолжительность ледохода у Черного Яра от даты повышения уровня, связанного с образованием затора, до даты наступления ледостава.

При построении этой зависимости была выявлена связь времени добегания с расходами воды (табл. 2).

Таблица 2.

Изменение времени добегания от Волгограда до Черного Яра в зависимости от среднесуточных расходов в нижнем бьефе Волгоградской ГЭС.

Среднесуточные расходы Волгоградской ГЭС, тыс. м ³ /с	Время добегания, сут.
5	3
5,5-6,5	3-4
6,5-7,5	4 - 5
7,5-8,5	5-6
9	6

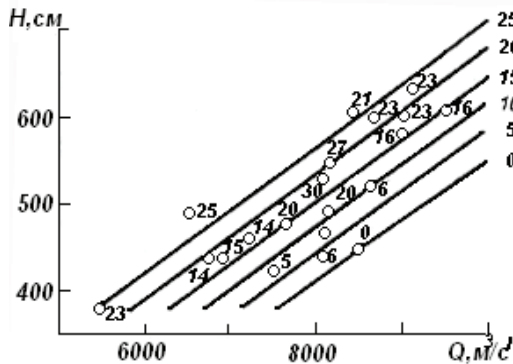


Рис. 2. Зависимость максимальных уровней у Черного Яра от расходов воды в нижнем бьефе ГЭС им. XXII съезда КПСС и продолжительность ледохода. Числа у точек - продолжительность ледохода в сутках.

Таким образом, появилась возможность учитывать не среднее время добегания, принятое в работе [2] равным четырем суткам, а фактическое, соответствующие величине расходов и зависящее от ледовой обстановки.

Уравнение регрессии для расчета заторных уровней у Черного Яра имеет вид:

$$\text{Нзат.} = 0,058x + 4,636y - 29, \quad (1)$$

где x - средний суточный расход воды в нижнем бьефе ГЭС им. XXII съезда КПСС на день прогноза в $\text{м}^3/\text{с}$,

y - продолжительность ледохода у Черного Яра от даты повышения уровня, связанного с образованием затора, до даты составления прогноза в сутках.

Коэффициент корреляции полученной зависимости (рис. 2) равен 0,85. Обеспеченность метода составила 100% при допустимой погрешности:

$$\delta_{\text{доп}} = 0,674\overline{\sigma_{\Delta}} = 53 \text{ см}$$

Отношение средней квадратичной ошибки к среднему квадратичному отклонению

$$\frac{\overline{S}}{\sigma_{\Delta}} = 0,37$$

Условие применимости зависимости (1) в оперативной практике:

$$15 < n < 25 \frac{S}{\sigma_{\Delta}} \leq 0,75$$

выполняется, где n — число членов ряда равно 20.

Таким образом, показатели качества методики, к которым относятся коэффициент корреляции, обеспеченность метода и условие применимости зависимости, рассчитанные согласно «Наставлению по службе "гидрологических прогнозов», позволяют отнести зависимость (1) к категории хороших.

Величины максимальных осенне-зимних заторных уровней по Черному Яру от года колеблются в больших пределах. Многолетняя амплитуда составляет 261 см, чем и объясняется большая величина δ доп. Однако обеспеченность метода сохраняется довольно высокой (75%) даже в том случае, когда δ доп. принимали равной 30 см, т. е. значительно меньше 0,674.

Полученная зависимость может быть использована при составлении краткосрочных прогнозов осенне-зимних заторных уровней по пункту Черный Яр с заблаговременностью 2-5 суток.

К расчету осенне-зимних заторных уровней по уравнению (1) следует приступать начиная с даты резкого подъема уровня у Черного Яра, вызванного образованием затора ниже уровня поста. Для этого, вместо x в уравнение (1) подставляется значение среднего суточного расхода воды Волгоградской ГЭС на день прогноза в $\text{м}^3/\text{с}$, вместо y - продолжительность ледохода у Черного Яра в сутках. Отсчет дней с ледоходом ведется от даты начала подъема уровня, связанного с образованием затора, до дня составления прогноза. Заблаговременность прогноза определяется временем добегающего, которое составляет 3-5 суток (табл. 2), однако следует учитывать, что ко времени составления прогноза в наличии имеется средний суточный расход Волгоградской ГЭС лишь за прошедшие сутки. Следовательно, фактическая заблаговременность прогнозов составит от 2 до 5 суток.

Дата наступления ледостава определяется по пункту Черный Яр. С установлением ледостава второй член уравнения (1) становится величиной постоянной и в дальнейшем не изменяется. Уравнение (1) принимает вид:

$$N \text{ зат.} = 0,058 x + 4,636 \text{ у макс.} - 29 \quad (2)$$

где $u \text{ макс.}$ - максимальная продолжительность ледохода у Черного Яра от даты подъема уровня, вызванного образованием затора ниже Черного Яра, до даты установления ледостава в Черном Яре в сутках.

Расчет по уравнению (2) производится с даты установления ледостава до наступления у Черного Яра максимального заторного уровня.

МЕТОД КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОЯВЛЕНИЯ ЛЬДА В ВОЛГО-КАСПИЙСКОМ (ПО ПУНКТУ ИСКУССТВЕННЫЙ) И УРАЛО-КАСПИЙСКОМ (ПО ПУНКТУ ПЕШНОЙ) КАНАЛАХ

В разное время были выполнены методические разработки краткосрочных и долгосрочных прогнозов основных ледовых фаз, ледовитости, положения кромки льда. Однако, гидрологический и ледовый режим судоходных каналов существенно отличается от режима остальной мелководной части Северного Каспия, а исследованиям их режима уделялось значительно меньше внимания. Из работ, посвященных ледовым процессам в каналах известна лишь одна (Ушакова, 1957). К сожалению, эта работа не была завершена. До 1977 г. действующей методики прогноза появления льда в судоходных каналах Северного Каспия не было.

В рассматриваемой методике были использованы эмпирические зависимости дат появления льда с датами перехода среднесуточных температур воздуха через 0 градусов. Коэффициенты корреляции составили 0,94-0,95. Полученные уравнения

связи позволяют прогнозировать даты первого и повторного появления льда в Волго-Каспийском и Урало-Каспийском судоходных каналах с заблаговременностью от 3 до 6 суток.

Для Урало-Каспийского канала получен график зависимости появления льда у Пешного от фактической температуры воды за утренний срок в день составления прогноза, величины понижения температуры воздуха со дня составления прогноза до предполагаемого дня появления льда и от ветра - в дни, предшествующие льдообразованию.

Для расчета по формулам условных дат ожидаемого появления льда, а также для вхождения в график используются суточные, трехсуточные или периодные (на 10 суток) прогнозы погоды по соответствующим районам Северного Каспия. Отсчет условных дат производится от самой ранней наблюдаемой даты первого появления льда в каналах - 18 октября.

Средняя многолетняя оправдываемость прогнозов, составленных с помощью этого метода составляет 87% по Волго-Каспийскому и 92% по Урало-Каспийскому каналам (Бухарицин, 1984).

Северная часть Каспийского моря представляет собой обширную, довольно мелководную акваторию, сильно отличающуюся по своим гидрологическим характеристикам от средней и южной частей моря. Ежегодно здесь образуется ледяной покров. Кроме этого Северный Каспий подвержен значительным сгонно-нагонным колебаниям уровня. Особенности гидрометрического режима в большей мере оказывают отрицательное влияние на судоходство в этом районе, что и послужило в свое время причиной создания судоходных каналов в устьях рек Волги и Урала. Кроме того, оба канала имеют и большое рыбохозяйственное значение.

Волго-Каспийский канал (ВКК) расположен в западной части Северного Каспия и служит для связи между бассейном реки Волги и Каспийским морем. Протяженность канала около 190 км. Урало-Каспийский канал (УКК) расположен в восточной части Северного Каспия и служит для связи между бассейном реки Урал и Каспийским морем. Его длина более 50 км.

С увеличением грузооборота между морскими портами Каспийского моря и речными портами на судах смешанного плавания типа "река-море", значение каналов, как основных транспортных артерий, возросло. Появление льда в каналах оказывает большое влияние на судоходство и до недавнего времени являлось основной причиной закрытия навигации. В связи с тем, что в последние годы навигация имеет тенденцию к продлению за счет плавания в зимние месяцы, важное практическое значение приобрела задача заблаговременного предсказания появления льда в Волго-Каспийском и Урало-Каспийском каналах.

Разработкой прогнозов ледовых явлений на Северном Каспии занимались многие исследователи. Среди них Бенашвили И.А. [1], Тютнев Я.А. [10], Каракаш Е.С. [1-9], Шереметевская О.И. [11, 12], Кан С.И. [3, 4], Каракаш А.И. [5, 6], Барабаш А.К. [2] и многие другие. Для Северного Каспия ими были разработаны методики прогнозов температуры воды, ледовых фаз, ледовитости и другие.

Однако гидрологический режим каналов существенно отличается от режима открытой мелководной части Северного Каспия, а исследованию ледовых явлений в каналах уделялось значительно меньше внимания. Из работ, посвященных прогнозу появления льда в каналах, известна работа С.А.Ушаковой "Методика прогноза сроков появления льда в Волго-Каспийском канале и порту Астрахань", написанная в 1957 году. В заключении по этой методике указывалось, что разработку методики следует считать незаконченной. Более поздних

исследований, посвященных разработке ледовых прогнозов в каналах, до настоящего времени не было.

Краткая гидрометеорологическая характеристика районов Северного Каспия, прилегающих к ВКК и УКК

Ветер. Ветровой режим в районах каналов определяется циркуляционными особенностями атмосферы. Преобладающими ветрами здесь в течение года являются юго-восточные, повторяемость которых составляет 35-50%.

В период, предшествующий появлению льда в каналах, наблюдается переход западных, юго-западных ветров на ветры северных румбов. В этот момент величина повторяемости штилей составляет 7% для Искусственного и 23% для Пешного.

Появление льда начинается при ветрах северной и восточной четверти (76% случаев для Пешного и 95% для Искусственного). В большинстве случаев (70-100%) лед образуется при умеренном ветре 5-10 м/с при штиле.

Температура воздуха. По температурному режиму Северный Каспий делится на две части: восточную и западную. Особенно резко выражено это различие в осенне-зимний период. Восточная часть более холодная, чем западная. В очень суровые зимы температура воздуха в восточной части понижается до минус 38°С, в то время, как в западной она не понижается ниже минус 25°С.

Наиболее вероятный переход среднесуточной температуры воздуха через 0° к отрицательным значениям для района ВКК (западная часть Северного Каспия) происходит во второй-третьей декаде ноября, реже в декабре и лишь в отдельные годы (1963 и 1975 гг.) первый переход через 0° произошел в первой декаде ноября.

На востоке Северного Каспия, в УКК, переход среднесуточной температуры воздуха через 0° происходит в среднем на декаду раньше, чем на западе.

При вторжении холодных арктических воздушных масс понижение температуры воздуха может достигать 10-15° за сутки, что приводит к столь же резкому и быстрому охлаждению воды в каналах до температуры замерзания.

Течения. В отличие от преобладающих в Северном Каспии дрейфовых течений, зависящих от режима ветра, в ВКК и УКК основными являются стоковые течения. Скорость течения зависит от величин стока рек Волги и Урала и в среднем составляет: для ВКК - 60-80 см/с, для УКК - 30-50 см/с. Вследствие растекания потока скорость течения вниз по каналам постепенно уменьшается и на их выходе составляет 5-10 см/с. На скорости течений в каналах существенное влияние оказывают неперiodические колебания уровня моря, вызываемые сгонно-нагонными явлениями. При сильных сгонах скорость течения в морской части Волго-Каспийского канала может достигать 1-2 м/с и более.

Лед. Появление льда в Волго-Каспийском и Урало-Каспийском каналах наблюдается ежегодно. Ледообразование начинается обычно во второй половине ноября, реже в первой половине ноября, октябре или декабре. Для станций Искусственный и Пешной, соответственно характеризующих ледовый режим ВКК и УКК, приведены сведения о первом и устойчивом появлении льда (табл. 1).

Таблица 1

Средние даты появления льда по станциям Искусственный и Пешной.

Характеристика	Искусственный (ВКК)	Пешной (УКК)
	Период осреднения 28 лет	Период осреднения 14 лет

	Дата первого появления льда	Дата устойчивого появления льда	Дата первого появления льда	Дата устойчивого появления льда
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
Раннее	Раньше 10/XI	Раньше 5/XII	Раньше 5/XI	Раньше 25/XI
Нормальное	10/XI-25/XI	5/XI1-20/XII	5/XI-20/XI	25/XI-10/XII
Позднее	Позже 25/XI	Позже 20/XII	Позже 20/XI	Позже 10/XII

Далеко не всегда первое появление льда бывает устойчивым. Очень часто первый лед разрушается, и наблюдается многократное повторное ледообразование. Промежутки между повторными появлениями могут быть от нескольких суток до нескольких недель. Устойчивое появление льда в УКК обычно начинается в конце ноября - первой декаде декабря, а в ВКК в первой или второй декаде декабря. Толщина льда в суровые зимы в ВКК достигает 50-60 см, в УКК - 60-80 см.

Разработка методики. В настоящей работе предпринята попытка установления статистических зависимостей для краткосрочного прогноза появления льда в Волго-Каспийском и Урало-Каспийском каналах на основе гидрометеорологических данных по станциям Искусственный и Пешной. Использовались данные по температуре воды (среднесуточной и за утренний срок); среднесуточной температуре воздуха; скорости и направлению ветра в период предшествующий ледообразованию; даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0° и даты первого и устойчивого появления льда по Астрахани и Гурьеву.

Все необходимые материалы взяты из таблиц ТГМ-I и журналов гидрометфонда группы морских прогнозов Астраханской гидрометслужбы.

При выявлении статистических зависимостей было установлено, что между датами появления льда и датами перехода температуры воздуха (среднесуточной) через градации 0°, -1°, -2°, -3°, -4° для Искусственного и Пешного, существует тесная связь. Так, для первого появления льда в УКК при первом переходе среднесуточной температуры воздуха через эти градации, коэффициенты корреляции составили во всех случаях 0,94-0,95. Для устойчивого появления эта связь также высока (для случая перехода через 0° коэффициент корреляции равен 0.91), однако связь постепенно ослабевает и, для случая перехода среднесуточной температуры воздуха через -4° равна 0,70. В связи с этим принято решение в дальнейшем использовать в работе только даты ее перехода через 0° (рис.1).

Для рассматриваемой зависимости получены уравнения связи:

для Искусственного:

$$y = 0.98 x + 1, (1)$$

для Пешного:

$$y = 0.97 x + 5, (2)$$

где:

x - условная дата первого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0° к отрицательным значениям;

y - условная дата первого появления льда.

Отсчет условных дат x и y производится от самой ранней даты первого появления льда в каналах - 18 октября.

Заблаговременность - 3-6 суток.

При проверке на зависимом материале обеспеченность составила для Пешного 71%, для Искусственного 93% (табл.2).

Таблица 2

Статистические характеристики прогностических уравнений для расчета дат первого появления льда.

Уравнение для прогноза	Заблаговременность прогноза (сутки)	Длина ряда	Коэффициент корреляции	Допустимая ошибка (сутки)	Обеспеченность		
					Уравнение	Природная	Инерционная
ВКК (Искусственный) $Y=0.98x+1$	3-5	29	0,95	1-2	93	48	46
УКК (Пешной) $Y=0.97x+5$	3-6	14	0,94	1-3	71	30	23

Более низкая обеспеченность для Пешного объясняется коротким рядом и большой амплитудой прогнозируемого элемента.

Расчет теплотерь водной массы по методу теплового баланса затруднен в виду невысокой точности прогноза метеозлементов, необходимых для расчета теплового баланса, однако Тютневым Я.А. [10] было установлено, что в периоды, когда температура воздуха близка к нулю, оказывается возможным, с допустимой для практических целей точностью, полагать тепловой баланс водной поверхности или льда, за несколько дней, пропорциональным сумме среднесуточных температур воздуха. Необходимо при этом сделать оговорку, что такая связь существует только в период, близкий к началу льдообразования.

Подсчитаны коэффициенты корреляции связи температуры воды за утренний срок с суммой градусо-дней мороза от момента перехода среднесуточной температуры воздуха через 0° до появления льда.

Бралась температура воды за утренний срок в день перехода среднесуточной температуры воздуха через 0° , за день и за два дня.

Для Пешного величина коэффициента корреляции (r) во всех случаях равна 0,44-0,47. Для Искусственного наибольшая величина $r = 0,22$.

Обеспеченность проверочных прогнозов, рассчитанных по полученным уравнениям, оказалась очень низкой и составила 54-56%, что не дает преимуществ перед природным и инерционным методами.

Для Искусственного характерно резкое понижение температуры воды в день перехода среднесуточной температуры воды через 0° . Величина понижения составляет $4-6^{\circ}$. Для Пешного такое понижение значительно меньше и составляет всего $1-2^{\circ}$. Однако это компенсируется значительно большей величиной отрицательных температур, накопленных к моменту появления льда (для Искусственного $-2,7^{\circ}$, а для Пешного $-11,2^{\circ}$).

Значительные различия в условиях образования льда в ВКК и УКК объясняются различными физико-географическими условиями этих каналов.

Кроме этого, устье р.Урал не имеет разветвленной дельты, поэтому воды его полностью попадают в Урало-Каспийский канал. Бровки канала непрерывные и

водо-теплообмена с прилегающим к каналу мелководным взморьем не происходит.

Иначе обстоит дело с ВКК. В настоящее время в него попадает всего 6-7% стока (с падением уровня Каспия до отметки минут 29,00 м абс. доля стока в западную часть дельты увеличивается, и через ВКК проходит до 20% и более от общего стока Волги). Бровки канала прерывистые, что приводит к интенсивному водо-теплообмену с прилегающим к каналу мелководьем. Особенно резко этот обмен выражен во время сгонов, предшествующих появлению льда. Более холодная вода мелководий скатывается в канал, что приводит к резкому понижению температуры воды в нем. Благодаря этому в ВКК лед появляется при сумме градусо-дней мороза у Искусственного в четыре раза меньшей, чему Пешного в УКК.

Произведен расчет линейной корреляции трех переменных:

1. Даты первого появления льда;
2. Температуры воды за утренний срок (09 ч);
3. Сумму отрицательных среднесуточных температур воздуха.

Для улучшения связи при подсчете суммы отрицательных температур от дня перехода среднесуточной температуры воды через 0° до появления льда учитывалась половина среднесуточной температуры воздуха в день появления льда в тех случаях, когда сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха была больше 10°. Это объясняется избытком суммы градусо-дней мороза в день появления льда. Однако, как для Искусственного, так и для Пешного, введение третьей переменной не привело к улучшению связи. Анализ показал наличие обратной зависимости между температурой воды и суммой отрицательных температур воздуха, т.е. чем выше температура воды к моменту перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°, тем меньшая требуется сумма градусо-дней мороза для появления льда. В 1938 году к этому же парадоксальному выводу пришел Бенашвили И.А. [1] при разработке методики прогноза сроков образования ледяного покрова на Каспийском море. Он установил, что величина накопленного тепла в море не является основным фактором, от которого зависит время наступления ледостава на Каспийском море. Анализируя синоптические условия замерзания Северного Каспия Бенашвили показал, что основным фактором льдообразования является вторжение полярных и арктических масс воздуха, вызывающих резкое понижение температуры воздуха и температуры поверхностных слоев воды в северных районах моря до точки замерзания.

Попытка использовать различие ветровых потоков в качестве косвенного показателя переноса тепла в период предшествующий образованию льда, не дала результатов, т.к. отсутствовала какая-либо связь направления и скорости ветра с температурой воды и суммой отрицательных температур. Однако для Пешного получена интересная зависимость (рис.2). Здесь по оси абсцисс откладывалась фактическая температура воды за 9 часов на день прогноза, по оси ординат - величины понижения температуры воздуха за утренний срок от дня прогноза до появления льда. Количество точек было увеличено за счет уменьшения заблаговременности, т.е. сначала бралась разность с заблаговременностью 6 суток, затем 5, 4 .

Точки с нанесёнными значениями направлений и скорости ветра на день составления прогноза расположились по группам. Так, при наибольшей заблаговременности (5-6 суток) велика повторяемость ветров с южной составляющей, с уменьшением заблаговременности (4-3 суток) увеличивается число случаев ветров западных направлений и при заблаговременности 1-2 суток

увеличивается число случаев северного, северо-восточного ветра. Полученная огибающая позволяет определить условия, при которых в УКК начинается образование льда (ориентировочный прогноз). Использовать график можно при температуре воды $6,0^{\circ}$ и ниже.

Для Искусственного такой огибающей получить не удалось.

Связь дат появления льда в Гурьеве с датами появления льда у Пешного показывает, что в большинстве случаев разница в датах не превышает 1-2 дней, следовательно, теплозапас р.Урал также невелик. Лишь в трех случаях разница достигает одной-двух недель, но эта разница вызвана не влиянием теплозапаса речной воды, а является результатом неоднородной синоптической обстановки в этом районе.

Полученные результаты убеждают в необходимости при дальнейших исследованиях больше внимания уделять анализу синоптических процессов предшествующих и сопутствующих появлению льда на Северном Каспии и в каналах. В условиях мелководности и малого теплозапаса речной воды основным фактором льдообразования является вторжение полярных и арктических масс воздуха, вызывающих резкое понижение температуры воздуха и температуры воды до точки замерзания.

Составление прогноза. По графику связи (рис.2) определяем возможность появления льда в Урало-Каспийском канале. Для вхождения в график используется фактическая температура воды по Пешному за утренний срок на день прогноза и величина понижения температуры воздуха от дня составления ледового прогноза до предполагаемого дня появления льда. Для этого используются суточные, трехсуточные и периодные прогнозы погоды.

Пример 1: В трехсуточном прогнозе погоды по северо-востоку Каспия ожидается понижение температуры воздуха до $5-10^{\circ}$ мороза. В день составления прогноза фактическая температура воздуха по Пешному равна 5° тепла. Следовательно, величина понижения температуры воздуха составит $10-15^{\circ}$. Фактическая температура воды равна 6° . Обе точки (для 10 и 15°) на графике (рис.2) расположатся выше огибающей линии, значит лед образуется.

Далее определяем даты появления льда в УКК и ВКК.

Для составления прогноза первого появления льда в Волго-Каспийском и Урало-Каспийском каналах используются уравнения (1) и (2).

Отсчет условных дат x и y производится от самой ранней даты первого появления льда в каналах - 18 октября. Следовательно, если по уравнению получилось 5, то это число надо прибавить к 18, чтобы получить прогноз даты первого появления льда: $18 + 5 = 23$ октября.

В период, предшествующий появлению льда, необходимо внимательно следить за ходом температуры воздуха и воды, а также прогнозами температуры воздуха (суточными, трехсуточными, периодными) по интересующему району. Если прогноз погоды предусматривает переход среднесуточной температуры воздуха через 0° , а температура воды близка к критической ($5-6^{\circ}$), то вероятность появления льда высока. Исходя из прогноза температуры воздуха, определяют для Искусственного и Пешного условные даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0° к отрицательным значениям (x) и подставляют в уравнения (1) и (2).

Для этого берут полусумму прогнозируемых на день и на ночь температур воздуха. Если она равна нулю или ниже - ледовый прогноз составляется, если выше нуля - прогноз не составляется. Для ВКК используется синоптический прогноз по северо-западной части Каспия, для УКК - для северо-восточной. Если

синоптик дал общий прогноз по всему Северному Каспию, то и условная дата перехода будет общая.

Пример 2: В составленном 15 октября 1977 года трехсуточном прогнозе погоды по Северному Каспию вдоль всего побережья 17-18 октября ожидалась температура воздуха ночью до 1-6° мороза, днем 1-6° тепла (среднесуточная 0°). Предполагая переход среднесуточной температуры воздуха через 0° 17 октября, получаем условную дату ($x=-1$). Подставляем значение x в уравнение (2), получаем: $y=0,97(-1)+5$, откуда $y = 4$. Производим отсчет от 18 октября и получаем: $18+4=22$ (октября). Заблаговременность полученного прогноза 7 суток, откуда допустимая погрешность равна 3 суткам, поэтому прогноз первого появления льда в УКК запишется в виде: 22 октября \pm 3 дня.

Такой же расчет производился для ВКК по уравнению (1). Заблаговременность составила 2 суток, допустимая погрешность 1 сутки. Получен прогноз первого появления льда в ВКК: 23 октября \pm 1 день.

Приведенные примеры рассчитывались на независимом материале и являются авторским испытанием зависимостей.

При проверке оправдываемости прогноза определяется разность между фактической и прогнозируемой величиной. Если эта разность, т.е. ошибка прогноза не превышает 6 доп., то считается, что прогноз оправдался.

В нашем случае в УКК первый лед появился 22 октября - прогноз оправдался. Для ВКК прогноз не оценивался из-за отсутствия сведений о фактической ледовой обстановке.

Расчет по уравнения (1), (2) производился и при повторном появлении льда.

Составлены прогнозы:

- для ВКК 6 декабря \pm 1 день, заблаговременность 2 суток;

- для УКК 9 декабря \pm 2 дня, заблаговременность 4 суток.

Фактически повторное появление льда отмечено в ВКК 6, в УКК 8 декабря.

Прогнозы оправдались.

Оправдываемость прогнозов появления льда в каналах, составленных по данной методике в течение ряда лет, составила: по ВКК - не ниже 87%, по УКК - не ниже 92%.

К сожалению, в последние годы, в связи с тяжелым экономическим положением, гидрометеорологическая сеть Северного Каспия была резко сокращена. Некоторые станции, в т.ч. и ГМС Искусственный, были закрыты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенашвили И.А. Методика ледовых прогнозов для Каспийского моря. - Вопросы морских гидрологических прогнозов, 1941, вып. 1, с.70-97.
2. Барабаш А.К. Методика прогноза температуры воды и появления льда в прибрежной зоне северной части Каспийского моря. - Сборник работ Астраханской ГМО, 1970, вып. 1, с. 103-111.
3. Кан С.И. Долгосрочные прогнозы ледовых явлений на Каспийском море. - Труды ЦИП, 1958, вып. 76, с. 64-70.
4. Кан С.И. Долгосрочный прогноз экстремальной ледовитости Каспийского моря. - Труды ГМЦ СССР, 1975, вып. 161, с. 101-107.
5. Каракаш А.И. Ледовые прогнозы на неарктических морях СССР. - Труды ГМЦ СССР, 1969, вып. 51, с. 101-119.
6. Каракаш А.И. Прогноз крупных аномалий ледовитости неарктических морей. - Труды ГМЦ СССР, 1975, вып. 161, с. 69-97.

7. Каракаш Е.С. Об изменчивости ледовитости и положения кромки льда на Северном Каспии. - Труды ГОИН, 1960, вып. 54, с. 5-21.
8. Каракаш Е.С. Прогноз ледовитости Северного Каспия. - Труды ГОИН, 1962, вып. 67, с. 11-131.
9. Каракаш Е.С. Об изменчивости положения кромки льда на Северном Каспии и возможности ее предсказания. - Труды ГОИН, 1964, вып. 76, с. 80-103.
10. Тютнев Я.А. Метод краткосрочных прогнозов появления льда на морях. - Труды ЦИП, 1948, вып. 3 (30), с. 51-257.
11. Шереметевская О.И. Безразмерная кривая обеспеченности сроков первого появления льда на морях ЕТС. - Труды ВНИИ МЦД, №55, с. 77-80.
12. Шереметевская О.И. Физико-статистический метод долгосрочного прогноза появления льда на морях ЕТС. - Труды ГМЦ СССР, 1978, №200, с. 83-91.

МЕТОД СЕЗОННОГО ПРОГНОЗА ТОРОСИСТОСТИ ЛЬДОВ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

В 1984г. была опубликована одна из первых работ, посвященных изучению ледовых процессов в зависимости от колебаний уровня моря (Бухарицин, 1984). Рассматриваемый здесь метод представляет собой продолжение этих исследований и является первой попыткой установления количественных зависимостей между величинами торосистости льдов Северного Каспия и уровнем моря. Цель исследования - разработка метода сезонного прогноза торосистости льдов Северного Каспия. Для этого с карт ледовых авиаразведок за период с 1958 по 1983 гг. были сняты максимальные за сезон значения прогнозируемого элемента (торосистости льда) по отдельным районам и в целом по акватории Северного Каспия. В качестве определяющего фактора были взяты средние годовые значения уровня Каспийского моря, рассчитанные по семи пунктам за этот же период.

Сравнение средних годовых прогнозируемых уровней, составленных в Гидрометеоцентре, с фактическими средними годовыми уровнями Каспийского моря за 15 лет (1968-1983гг.), подтверждает достаточную точность этих прогнозов, следовательно, и возможность использования их в расчете максимальной торосистости льдов. Обработка исходных данных производилась методами расчета линейной корреляции. Коэффициенты корреляции зависимостей составляют 0,65 и 0,74. Обеспеченность метода соответственно 100 и 96%. Выявлена пригодная для практического использования связь трех переменных (торосистости, уровня, скорости ветра) для всей акватории Северного Каспия и по району добычи тюленей. Ожидаемая торосистость льда рассчитывается по соответствующим формулам. Учитывая, что исходные данные для составления прогноза поступают в апреле-мае, заблаговременность полученного по данной методике прогноза максимальной торосистости льдов составляет 8-9 месяцев. Допустимая погрешность метода ± 1 балл торосистости.

Предел применимости метода ограничен отметками уровня Каспийского моря минус 27,50 - 29,50 м.абс. Выше и ниже этих отметок зависимости теряют смысл. В этом случае нужно получить другие формулы. Оправдываемость прогнозов составленных по этой методике в 1982-1985 гг. составила около 100% (Бухарицин, 1988).

В связи с необходимостью обеспечения круглогодичной навигации на Волго-Каспии повысились требования к прогнозам ледовых условий. На формирование рельефа ледяного покрова моря существенное влияние оказывают как климатические факторы (суровость зим, повторяемость сильных ветров), так и гидрологические (колебания уровня моря, течения).

Вопросы динамики ледяного покрова, в частности некоторые особенности процессов торошения льдов Северного Каспия, отражены в исследованиях В.Л.Цурикова, М.С.Потайчук и др. (1961 г.), Ф.И.Валлера (1979 г.). Процессы торошения эти авторы рассматривают в зависимости от метеорологических условий конкретных зим. Примененная для этого Валлером классификация основана на оценке степени суровости зим [4]. Им выполнена также систематизация данных о торосистости льдов Северного Каспия по материалам ледовых авиаразведок за 20-летний период (1958-1978 гг.).

Влияние уровня моря на процессы торошения в этих работах не рассматривается, Е.Г.Архипова (1958 г.), исследуя термический режим Каспийского моря, одной из первых высказала предположение о наличии связи ледовых процессов с объемными колебаниями уровня моря [1, 2], однако длительное время этот вопрос оставался практически не исследованным. Спустя 12 лет (в 1970 г.) на Всесоюзном совещании по изучению льдов южных морей К.К. Гюль, подводя итоги исследований современного режима Каспийского моря, отметил совершенно недостаточную изученность процессов, связывающих изменения ледового режима Каспийского моря с изменениями (понижением или повышением) его уровня /5/.

Лишь в 1984 г. была опубликована одна из первых работ, посвященных этому вопросу /3/. В работе показано наличие тесной связи между интенсивностью торошения и объемными колебаниями уровня моря. Отмечена возможность практического использования этой связи в качестве прогностического признака для определения величины ожидаемой максимальной торосистости льдов Северного Каспия,

Настоящая работа представляет собой продолжение исследований начатых в /3/, и является первой попыткой установления количественных зависимостей между торосистостью льдов Северного Каспия и уровнем моря. Цель исследования - разработка метода сезонного прогноза торосистости льдов Северного Каспия. Для этого с карт ледовых авиаразведок за период 1958-1983 гг. были сняты максимальные за сезон значения прогнозируемого элемента (торосистости льда) по районам I, II, III и в целом по Северному Каспию.

На рис.1 дана схема районов Северного Каспия (I - Астраханский морской рейд, II - основной район добычи тюленей, район III - Гурьевский морской рейд, IV - граница Северного Каспия). В качестве определяющего фактора были взяты средние годовые значения ровня Каспийского моря, рассчитанные по семи пунктам за 1958-1983 гг.

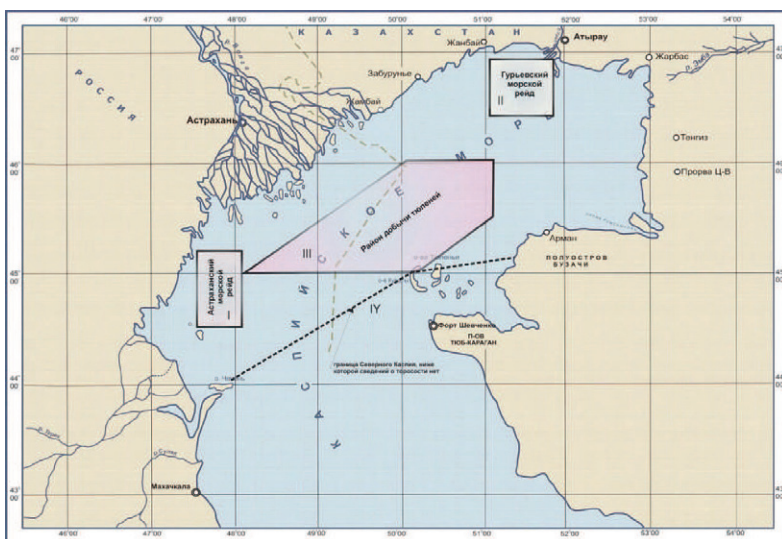


Рис.1. Схема районов Северного Каспия.

Сравнение прогнозов годового уровня, составленных в Гидрометцентре СССР, с фактическими средними годовыми уровнями Каспийского моря за 15 лет (1968-1983 гг.) подтверждает достаточную точность этих прогнозов, а следовательно, возможность использования их при расчете максимальной торосистости льдов. Так в 10 случаях ошибка прогноза не превышала ± 2 см. а максимальное ее значение составило 11 см (в 1978 г.).

Обработка исходных данных производилась методами расчета линейной корреляции, изложенными в [6]. Получены прогностические уравнения вида $T = f(H)$, где T - торосистость (баллы), H - уровень моря (см) относительно отметки 28 м над уровнем моря. Уравнения для Северного Каспия и II района имеют вид:

$$T_{ск} = -0,02 H + 2, \quad (1)$$

$$T_{II} = -0,03 H + 1 \quad (2)$$

Заблаговременность прогноза составила 8-9 мес. Статистические характеристики (длина ряда - 25 лет) приведены в табл.1.

Таблица 1.

Район	Коэффициент корреляции	Допустимая ошибка, баллы	Обеспеченность, %		
			уравнение	природная	инерционная
Северный Каспий	-0.65	± 1	100	50	27
II район	-0,74	± 1	96	73	25

Для I и III районов аналогичных зависимостей получить не удалось, так как коэффициенты корреляции в этих случаях оказались очень малы (соответственно 0,15 и 0,18).

В табл.2 приводятся статистические характеристики прогнозируемого элемента (торосистости льда).

Отношение $S/\sigma T$, являющееся показателем точности метода, составляет для Северного Каспия в целом и II района 0,77 и 0,67 соответственно. Таким образом, для сверхдолгосрочного прогноза максимальной торосистости (Заблаговременность 8-9 мес.) при $n = 25$ справедливо требование: при $\lambda > 25 - 0,80$, допускающее практическое использование этого метода с погрешностью $\delta = 0,8 \sigma T$.

Таблица 2.

Район	Квадратическое Отклонение, δ	$S/\sigma T$	Среднее, баллы	Максимум, баллы	Минимум, баллы
Северный Каспий	0,58	0,77	3,0	5	2
II район	0,58	0,67	2,5	5	1

Известно, что основным динамическим фактором, формирующим рельеф ледяного покрова, является ветер. Была сделана попытка установить связь торосистости лада со скоростью ветра, но удовлетворительных связей вида $T = f(V)$, где V - скорость ветра (м/с), получить не удалось ($r = 0,25 \dots 0,42$), что объясняется недостаточным объемом фактических данных о торосистости льда по отдельно выделенным небольшим районам, их случайностью.

Выявлена пригодная для практического использования параметрическая связь вида $T = f(HV)$ для всего Северного Каспия и для II района. На рис.2 приведена зависимость $T = f(HV)$, где H - уровень моря (см), V - скорость ветра (м/с), цифры у точек - торосистость льда T (баллы). Коэффициенты корреляции равны соответственно 0,65 и 0,75. Эту зависимость предлагается использовать для уточнения прогноза ожидаемой максимальной торосистости льда. Аппроксимации этих зависимостей для Северного Каспия и II района имеют вид:

$$T_{ск} = -0,03 H + 0,13 V, \quad (3)$$

$$T_{II} = -0,03 H - 0,04 V + 14, \quad (4)$$

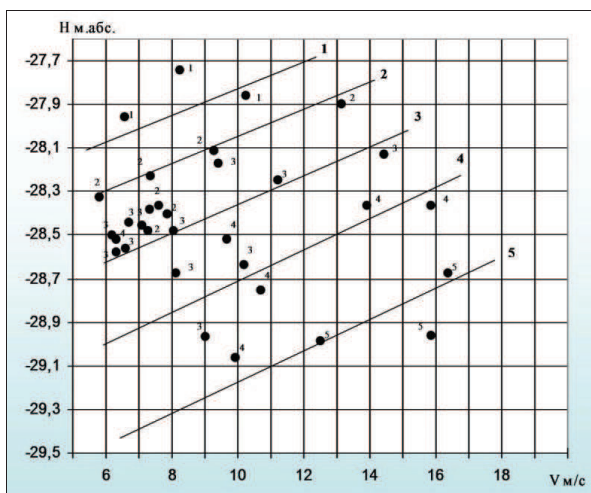


Рис. 2. Зависимость торосистости льда T от уровня моря H и скорости ветра V .
Цифры у точек – торосистость.

Прогноз составляется следующим образом.

1. Ожидаемая торосистость льда рассчитывается по формулам (1) и (2) соответственно для всего Северного Каспия и отдельно для II района, в обоих случаях в формулы подставляется прогнозируемый уровень Каспийского моря (H). Прогноз уровня публикуется в бюллетене Гидрометцентра СССР в апреле-мае; следовательно, и прогноз торосистости рассчитывается и выпускается в мае. Его заблаговременность, таким образом, составляет 8-9 мес.

2. По формулам (3) и (4) уточняем пределы ожидаемой торосистости льда по тем же районам. Для этого используются две величины:

- прогнозируемый уровень Каспийского моря (H),
- среднее многолетнее значение максимальной скорости ветра за январь-февраль по Северному Каспию (V), которое впоследствии уточняется данными прогнозируемого ветра из месячных прогнозов погоды по Северному Каспию.

Пример составления прогноза. Необходимо рассчитать максимальную торосистость льда, ожидаемую в январе-феврале 1983 г.

По прогнозу Гидрометцентра СССР средний годовой уровень Каспийского моря в 1982 г. ожидался на 7-10 см выше, чем в предыдущем году, т.е. от 15 до 18 см (в относительных отметках).

Подставляя значения H в формулы (1) и (2), получаем значения ожидаемой торосистости, равные 2,3 балла и 1,5 балла соответственно.

Так как допустимая погрешность, согласно [6], равна ± 1 балл, то составлен следующий прогноз: в январе - феврале 1983 г. максимальная торосистость льда Северного Каспия составит 2 ± 1 балла, во II районе также 2 ± 1 балла. Прогнозы оправдались.

Обеспеченность прогнозов, рассчитанных по формулам (1) и (2), равна соответственно 100 и % %, по формулам (3) и (4) - 88 и 92 %.

Метод испытан на независимом материале в 1984 г. Результаты оценки прогнозов торосистости льда (баллы) приведены в табл.3.

Таблица 3.

Оценка прогнозов торосистости льдов на Северном Каспии.

Год	Северный Каспий			II район		
	прогноз	фактически	оценка	прогноз	фактически	оценка
1983	2	2	Оправдался	2	2	Оправдался
1984	2	2	Оправдался	2	2	Оправдался

Предлагаемый метод прост и позволяет с достаточной точностью заблаговременностью предсказывать ожидаемую максимальную торосистость льда на предстоящий зимний сезон по всей акватории Северного Каспия и отдельно по входящему в него обширному району добычи тюленей (П район на рис.1).

Составление же подобных прогнозов по отдельно выделенным маленьким районам, какими являются Астраханский и Гурьевокий морские рейды, при всей их несомненной важности, не представляется возможным из-за отсутствия необходимого минимума информации о торосистости по этим районам.

Расположение зон максимальной торосистости зависит от степени суровости зим, поэтому для уточнения положения зон рекомендуется использовать схемы торосистости, приведенные в работе [3].

Предел применимости уравнений (1), (2), (3) и (4) для расчета максимальной торосистости ограничивается отметками уровня от -27,50 до -29,50 м по отношению к уровню моря. Выше и ниже этих отметок указанные зависимости теряют смысл. В таких случаях должны быть получены другие формулы.

РАСЧЕТ И ПРОГНОЗ ТОЛЩИНЫ НАСЛОЕННОГО ЛЬДА В СУДОХОДНЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

В практике зимних плаваний на Северном Каспии судоводителям часто приходится сталкиваться с наслоенными льдами, толщина которых значительно превышает толщину льдов естественного нарастания.

В статье рассматриваются причины и особенности формирования наслоенных льдов в судходных районах северо-западной части Каспия и предлагается метод расчета и прогноза толщины наслоенных льдов.

Большой практический интерес для судоходства на Волго-Каспии в зимних условиях, а также при решении некоторых задач морского гидротехнического строительства представляют данные по толщинам льда в морской части Волго-Каспийского канала и на Астраханском морском рейде. Систематические наблюдения за льдами, характеризующими этот район Каспийского моря, ведутся на РМС о. Искусственный.

Согласно действующему наставлению по производству гидрологических наблюдений на морских станциях и постах, измерения толщины льда выполняются на одних и тех же постоянных участках, находящихся недалеко от станции. Участки, выбранные для наблюдений, должны располагаться в пределах припая и по мере возможности в таких местах, где не происходило бы наслоения и торошения льда [8]. Поэтому практически все наблюдения за толщиной ледяного покрова, выполняемые на всех морских гидрометеорологических станциях Госкомгидромета и, в частности, в интересующем нас районе, дают данные о толщине льда естественного (термического) нарастания.

Максимальная толщина льда естественного нарастания на Северном Каспии наблюдается в январе — феврале и даже в очень суровые зимы, как правило, не превышает 60 см в северо-западной части и 90 см в северо-восточной.

Однако далеко не всегда эти данные удовлетворяют потребителей гидрометеорологической информации. Опыт зимних ледокольных плаваний на Северном Каспии показывает, что здесь очень редко можно встретить ледяной покров естественного нарастания, чаще лед встречается в виде подсовов и наслоений (см. таблицу).

Сильные ветры, особенно в период формирования ледяного покрова, способствуют взлому припая и интенсивным подвижкам. При толщине льда от 1 до 30 см происходит его многократное наслоение (подсовы) и торшение. К районам наиболее интенсивных подвижек на Северном Каспии относится интересующая нас акватория Астраханского морского рейда и морская часть Волго-Каспийского канала.

При наблюдениях со спасательного судна «Егор Сазонов» за толщиной ледяного покрова вдоль кромки льда в Северном Каспии в феврале 1929 г. отмечался напластованный лед толщиной до 160 см. С ледокольного буксира «Молодец» в начале 1950 г. севернее о. Чечень наблюдался лёд толщиной 3 м. Ранее в этом районе неоднократно встречался лед толщиной 2,5 м. Во время экспедиции Государственного океанографического института на ледоколе «С. Орджоникидзе» в феврале 1951 г. вблизи Средней Жемчужной банки отмечался наслоенный лед толщиной 130 см (рис. 1).

Способность дрейфующих льдов многократно наслаиваться была отмечена В.Л. Цуриковым (1961 г.).

Впервые возможность расчета максимальной толщины наслоенных льдов, равной примерно удвоенному значению его средней толщины, была предложена В.В. Бетиным (1963 г.) для Балтийского моря. Причем в качестве обязательного условия наслоения льдов отмечалось наличие в предшествующий период ветров со скоростями 8-10 м/с и более [2].

В 1979 г. В.П. Афанасьев предложил метод приближенной оценки расчетной толщины напластованного льда для ряда морей Советского Союза [1].

Получена зависимость:

$$h^2n + 50 hN = 8 (\sum \Theta_0 + \sum \Theta_N) \quad (1)$$

где h^2n - толщина напластованного льда в конце расчетного периода, см;

$\sum \Theta_0$ - сумма градусо-дней мороза за оставшееся время после напластования;

$\sum \Theta_N$ - сумма градусо-дней мороза, соответствующая нарастанию льда толщиной, равной толщине первоначально напластованного льда (является условной величиной).

Однако этот метод не лишен недостатков.

Во-первых, автор принимает условие, что наслоение льда происходит только до момента, когда толщина льда естественного нарастания достигнет толщины 15-20 см (что соответствует примерно сумме 125-175 градусо-дней мороза), что последующее его нарастание происходит только за счет дальнейшего накопления градусо-дней мороза. Здесь неясно, какую же толщину напластованного льда брать за исходную, так как она во многом зависит от режима ветра в данный период.

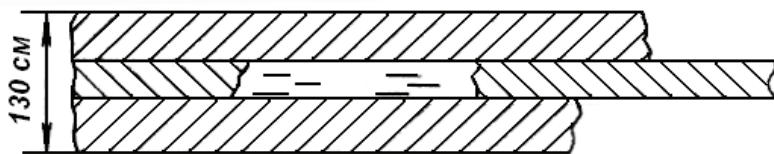


Рис. 1. Строение наслоенного льда по данным наблюдений экспедиции ГОИНа на Северном Каспии в 1951 г.

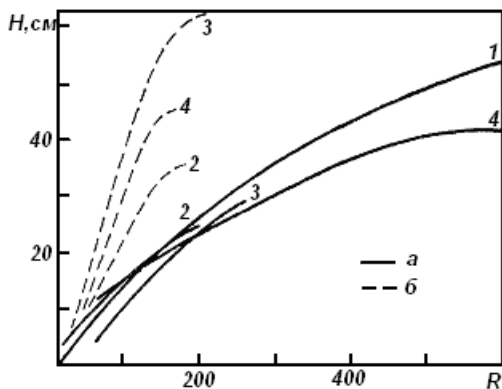


Рис. 2. График роста толщины льда H в зависимости от суммы градусо-дней мороза R .

a — лед естественного (термического) нарастания; $б$ — наслоенный лед. 1 — расчетная кривая; 2 — мягкая зима; 3 — умеренная зима; 4 — суровая зима.

Во-вторых, в мягкие и умеренные зимы толщина льда термического нарастания в северо-западной части Каспия не превышает 30 см, следовательно, наслоение может происходить в течение всего зимнего периода.

В-третьих, для многих неарктических морей и, в частности, для северной части Каспия к моменту прекращения механического наслоения суммарная толщина льда достигает, а в некоторых случаях и превышает предельно возможную для этого района моря толщину льда термического нарастания. Поэтому дальнейшего термического роста толщины льда уже не происходит, а в некоторых случаях, наоборот, происходит ее уменьшение.

Условия, предусмотренные в [1], на Северном Каспии возможны лишь в зимы с малой повторяемостью сильных ветров.

В связи с этим практический интерес представляет возможность расчета и прогноза толщины льда именно в процессе наслаивания, с момента начала образования льда и до достижения им предельной толщины. Фактические данные показывают, что простое наслаивание в северной части Каспия происходит при толщинах однослойного льда преимущественно от 0 до 30 см. Это хорошо согласуется с выводами Бетина В.В. (10-25) [2] и Афанасьева В. П (7-20 см) [1].

Модель простого наслаивания льдин равной толщины, выполненная Р. Пармертером [10], также дает близкую к этим значениям максимальную толщину молодого льда, при которой может происходить наслоение (17 см).

На интенсивность термического нарастания ледяного покрова существенное влияние оказывают температурные волны [5]. Фактические толщины льда термического нарастания, соответствующие данным суммам отрицательных температур воздуха, всегда будут отличаться от рассчитанных по эмпирическим формулам, в которых в качестве аргумента содержится сумма градусо-дней мороза, а колебания температуры воздуха не учитываются. Как видим на рис. 2, кривые фактических толщин льда термического нарастания (кривые 2—4) расположены ниже расчетной кривой 1.

Значения измеренных в эти же периоды толщин наслоенных льдов на графике располагаются значительно выше линии максимально возможных для данных сумм градусо-дней мороза толщин льда термического нарастания. При этом толщина

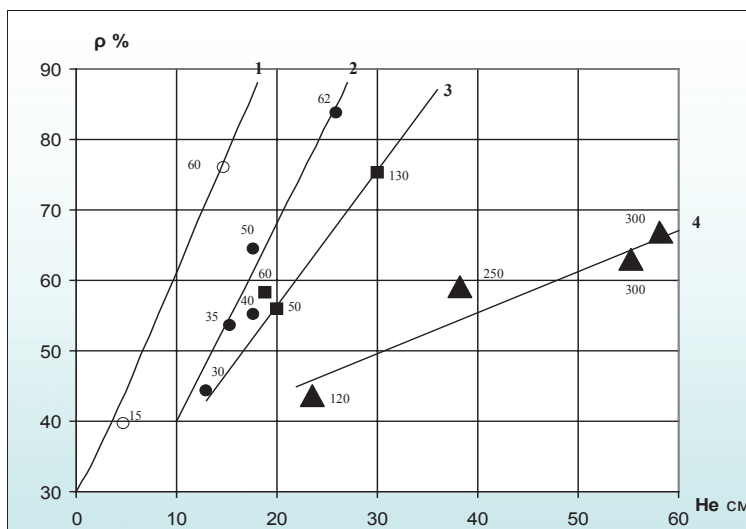


Рис. 3. Зависимость толщины наслоенного льда от повторяемости ветра 8 м/с и более и толщины льда естественного нарастания. 1 - мягкие зимы; 2 - умеренные зимы; 3 - суровые зимы; 4 - очень суровые зимы. Числа у точек в скобках - толщины наслоенного льда, см.

наслоенных льдов находится в тесной зависимости от повторяемости ветров 8 м/с и более. В настоящей работе использованы данные о ветре по пунктам о. Искусственный, о. Чистая Банка, о. Тюлений. На рис. 2 видно, что измеренные одновременно толщины наслоенного льда в два раза превышают толщину льда термического нарастания.

К концу зимы разница в толщинах частично сглаживается, с одной стороны, благодаря дальнейшему термическому нарастанию той части льдов, которая не достигла своей предельной для данной суммы градусо-дней мороза толщины, а с другой — вследствие стаивания напластованного льда, толщина которого уже превысила предельную.

В суровые и очень суровые зимы, когда в исследуемом районе отмечались толщины наслоенного льда 130, 250 и даже 300 см, помимо простого

механического наслоения тонких льдин имеет место сложное наслоение льдин разного возраста, которое сопровождается интенсивным торшением льда. В этих случаях влияние фактора ветра более сложно и неоднозначно.

Рис. 3 иллюстрирует связь толщины наслоенного льда с фактической толщиной льда термического нарастания и повторяемостью ветра со скоростью 8 м/с и более. Как видим, в мягкие и умеренные зимы (кривые 1 и 2) толщина наслоенного льда в основном зависит от ветрового режима, а в очень суровые зимы (кривая 4) влияние ветра имеет менее существенное значение. Суровые зимы на этом графике (кривая 3) занимают промежуточное положение. Эта зависимость представляет большой практический интерес для целей оперативного обеспечения потребителей морской гидрометеорологической информации, в частности судов морского флота и типа «река — море», осуществляющих зимние плавания.

Полученное уравнение регрессии (2) позволяет по фактической толщине льда естественного нарастания H_e и повторяемости ветра 8 м/с и более за предшествующий период P оперативно рассчитать толщины наслоенного льда, встреча с которым возможна в данный момент на судоходных трассах. Уравнение имеет вид:

$$H_n = -0,7P + 6,2 H_e - 21, \quad (2)$$

где H_n - толщина наслоенного льда, см;

P - повторяемость ветров со скоростью 8 м/с и более за период с даты устойчивого ледообразования до даты расчета, %;

H_e — толщина льда естественного (термического) нарастания на день расчета, см.

Коэффициент корреляции зависимости равен 0,98. Обеспеченность уравнения составляет 100% при допустимой погрешности $\delta = \pm 0,674 \sigma = \pm 65$ см, что превышает обеспеченность вероятного отклонения от нормы на 33%.

Величина отношения S/a - основного критерия применимости метода составляет 0,20, что вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям [7].

Проверка уравнения на зависимом материале дала следующие результаты: в шести случаях ошибки расчета составили 1-8 см; в пяти случаях 15-22 см; в одном случае 40 см.

Несмотря на довольно существенные в некоторых случаях расхождения между фактическими и рассчитанными толщинами наслоенных льдов, они все же меньше допустимой погрешности метода (65 см) и значительно меньше расхождений между измеренными толщинами наслоенных льдов и фактическими данными гидрометеорологических станций. Здесь минимальные расхождения составляют 8—45 см, максимальные 100-245 см (см. таблицу).

Как видим, преимущества расчета толщины наслоенного льда по формуле (2) очевидны, так как дают более достоверные по сравнению с измеренными на станциях результаты.

От расчета толщины наслоенного льда нетрудно перейти к его прогнозу. Для этого воспользуемся простой эмпирической формулой (3), связывающей толщину льда естественного нарастания с суммой градусо-дней мороза, полученной Ф. И. Валлером (1970 г.) для центральной части Северного Каспия [3]:

$$H_e = 2 \sqrt{R}, \quad (3)$$

где H_e - толщина льда естественного нарастания, см;

R - сумма градусо-дней мороза.

Заблаговременность прогноза толщины льда, рассчитанного по формуле (3), будет зависеть от используемых для этого прогнозов погоды. Могут использоваться трехсуточные периодные прогнозы погоды, составляемые Астраханской ЗГМО, или месячные прогнозы погоды, составляемые Гидрометцентром СССР по районам северо-западной части Каспия.

Прогноз толщины наслоенного льда составляется следующим образом. К имеющейся за предшествующий период сумме градусо-дней мороза прибавляем ожидаемую сумму отрицательных температур воздуха, взятых из прогноза погоды. Полученное значение R подставляем в (3) и вычисляем значение ожидаемой толщины льда естественного нарастания H_e .

Аналогичным образом поступаем с повторяемостью ветра P . К имеющемуся на день составления прогноза фактическому числу дней с ветром 8 м/с и более прибавляем число ожидаемых дней с таким же ветром, ожидаемых по прогнозу погоды. Затем подсчитываем общую повторяемость ветра в процентах. Вычисленные таким образом значения P и H_e подставляем в (2), в результате получаем H_N — ожидаемую толщину наслоенного льда в интересующем нас судоходном районе северо-западной части Каспия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Толщина напластованного льда является одной из важнейших характеристик ледяного покрова. Ею руководствуются при выборе транспортных и ледокольных средств, участвующих в зимних плаваниях. От правильности этого выбора в свою очередь зависит успех зимней навигации в целом, ее эффективность, безаварийность и т. д.

Ошибки расчетов по формуле (2) составляют 1-8 см (максимальные 15-40 см). Это значительно меньше разницы между фактической толщиной наслоенных льдов и измеренной в это же время толщиной льдов естественного нарастания, составляющей 8-45 см (максимальная 100-245 см).

Проверка расчетной формулы (2) на независимом материале подтвердила надежность связи. Ошибка расчетов не превышала 10 см.

Не меньший практический интерес для морских отраслей народного хозяйства представляет толщина наслоенных льдов в открытых частях моря, в частности в районе добычи тюленей, так как промысел этих морских животных на Северном Каспии осуществляется с помощью работающих во льдах зверобойных судов. Однако фактических данных совершенно недостаточно для разработки методики расчета толщины наслоенных льдов в центральных районах Северного Каспия. Регулярные наблюдения за толщиной наслоенных льдов на Северном Каспии, к сожалению, не ведутся. До настоящего времени такие измерения носят эпизодический, случайный характер.

Из-за отсутствия фактических данных о толщинах наслоенных льдов в настоящее время не представляется возможным установить характер и величину влияния уровня моря на процессы насаивания льдов, хотя изучение этого вопроса также представляет большое практическое значение.

В связи с вышеизложенным в интересах заинтересованных морских отраслей народного хозяйства представляется целесообразным учреждениям Госкомгидромета наряду с измерениями толщины льда естественного нарастания по возможности производить измерения толщины наслоенного льда, и не только в районе станций, но и в открытых частях моря. Весьма перспективным является

более широкое применение дистанционных методов измерения толщины льда с помощью авиации.

МЕТОД РАСЧЕТА И ПРОГНОЗА ТОЛЩИНЫ НАСЛОЕННОГО ЛЬДА В ОТКРЫТЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Предлагаемый метод позволяет выполнять расчет, а также прогноз толщины наслоенного льда в открытых районах Северного Каспия с заблаговременностью от 1 суток до 1 месяца.

Льды Северного Каспия представляют серьезное препятствие для судов, совершающих зимние плавания в этом районе моря. Интенсивное торошение, подвижки, наслоения льда часто создают здесь весьма неблагоприятные, а порой и опасные для судоходства ситуации. Особенности процессов торошения ледяного покрова подробно рассмотрены в [2].

Использование метода, приведенного в [3], в оперативной работе дало возможность своевременно и правильно оценивать ожидаемую ледовую обстановку и на основании этого осуществлять оптимальную расстановку ледоколов на судоходных трассах. Методика успешно зарекомендовала себя в оперативном обслуживании заинтересованных морских отраслей народного хозяйства.

Не меньший практический интерес для морских отраслей народного хозяйства представляет фактическая и прогнозируемая толщина наслоенного льда в акватории Северного Каспия, в частности в районе добычи тюленей (рисунков), так как промысел этих морских животных на Северном Каспии осуществляется с помощью работающих во льдах зверобойных судов [3]. К сожалению, до недавнего времени метод прогноза не разрабатывался из-за отсутствия наблюдаемых данных о толщине наслоенного льда. Собранные в последнее время разрозненные архивные материалы, а также оперативные данные, полученные со зверобойных судов за 1934—1989 г., позволили восполнить этот пробел.

Наблюдения, выполняемые на морских гидрометеорологических станциях, дают представление о толщине ровного льда естественного нарастания, так как участки, выбираемые для наблюдений согласно действующему наставлению по производству гидрологических наблюдений на морских станциях и постах, должны располагаться в пределах припая и по возможности в таких местах, где не происходило бы наслоения и торошения льда [7]. Максимальная толщина льда в открытых районах Северного Каспия, как правило, в нормальные зимы не превышает 50—60 см, а в суровые —80—90 см.

В данной работе для оценки суровости зим применена классификация, предложенная Я. А. Тютневым, который все зимы разбивает на пять типов: очень суровые, суровые, нормальные, мягкие и очень мягкие. В качестве критерия суровости зим он берет сумму средних месячных температур воздуха за декабрь—март. Градация зим дана на основе систематизированных данных за 1924—1971 гг. [9].

Многолетний опыт работы во льдах судов тюленебойных экспедиций показывает, что в открытых районах Северного Каспия лед чаще всего встречается в виде подсонов и наслоений, а толщина напластованного, многослойного льда может многократно превышать толщину ровного льда вследствие одновременного воздействия сильных ветров и течений в период формирования ледяного покрова.

Для разработки метода прогноза толщины наслоенного льда использованы сведения о толщине ровного и наслоенного льда, полученные во время плаваний

на ледоколах «Ратмир» (1969 г.), «Серго Орджоникидзе» (1952 г.), тюленебойных экспедиций на судах «Галактика» (1970 г.), «Тюлень-1» и «Тюлень-10» (1989 г.), океанографической экспедиции ВНИРО на лошадях (1934 г.), а также на основе профильных наблюдений Гидрометслужбы (1950, 1951, 1954 гг.) и данных повторяемости ветра на гидрометеостанциях Северного Каспия: Кулалы, Тюлений, Пешной за эти же годы (рисунок, табл. 1).

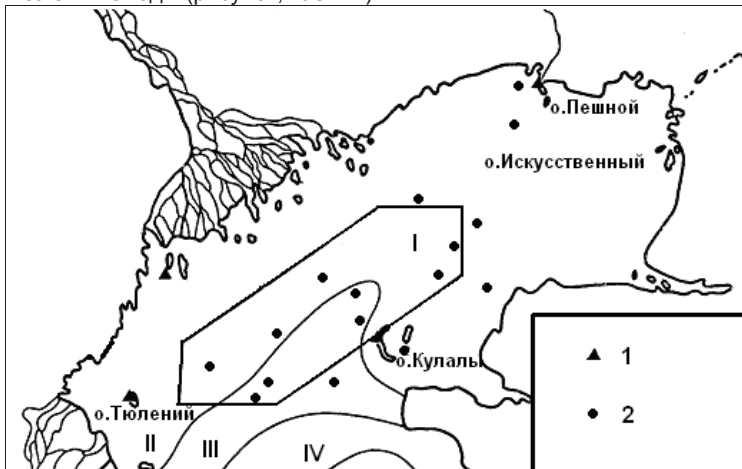


Схема Северного Каспия.

1 — гидрометеостанции, 2 — места замеров толщины наслоенного льда; I — район добычи тюленей, II—IV — максимальные кромки льда в мягкие, умеренные и суровые зимы соответственно.

Расчет линейной корреляции трех переменных выполнен отдельно для суровых и очень суровых зим и для мягких и нормальных зим, при этом установлено, что направление ветра в данном случае не имеет значения и в дальнейшем не учитывалось:

$$Hc = 4,6 P + 11,1 He - 213, \quad (1)$$

$$HN = 0,7 P + 1,4 He - 18, \quad (2)$$

где Hc толщина наслоенного льда в суровую или очень суровую зиму, см; HN — толщина наслоенного льда в нормальную или мягкую зиму, см; P — повторяемость ветра со скоростью 8 м/с и более с даты устойчивого ледообразования до даты составления расчета (прогноза), %; He — толщина ровного льда естественного (термического) нарастания, см.

Уравнения регрессии (1) и (2) дают возможность по фактической толщине ровного льда и повторяемости ветра со скоростью 8 м/с и более за предшествующий период рассчитать толщину наслоенного льда, встреча с которым возможна в данный момент (или на дату прогноза) в открытых районах Северного Каспия. Статистическая оценка расчетов толщин льда приведена в табл. 2 и 3.

Метод удовлетворяет требованиям «Наставления по службе морских гидрологических прогнозов» [6].

Расчет толщины наслоенного льда на текущую дату проводится путем введения в (1) или (2) данных о фактической толщине ровного льда естественного нарастания на день расчета и повторяемости ветра со скоростью 8 м/с и более за период с даты устойчивого ледообразования до даты расчета (в %). Причем в расчет включаются все дни, когда одной или несколькими гидрометеостанциями Северного Каспия хотя бы за один срок наблюдений зафиксирована скорость ветра 8 м/с и более.

Таблица 2.

Статистические характеристики толщины льда, см.

Тип зимы	Среднеквадратичное отклонение	Прогнозируемые величины		
		средние	максимальные	минимальные
Мягкие и нормальные Суровые и очень суровые	10,7	53	90	30
	20,2	192	>300	100

Таблица 3.

Статистическая оценка регрессионных формул (1), (2).

Уравнения для расчета толщины наслоенного льда	Заблаговременность, сут	Коэффициент корреляции	Длина ряда, лет	Допустимая ошибка, см	Обеспеченность, %	
					уравнения	природная
Для мягких и нормальных зим						
$H_N = 0,7 + 1,4 \cdot 18$	1 - 30	0,80	10	12	100	40,0
Для суровых и очень суровых зим						
$H_c = -4,6 + 11,1 \cdot 213$	1 - 30	0,97	6	56	82,3	17,7

Например, максимальная толщина ровного льда естественного нарастания в нормальную зиму 1985 г. на Северном Каспии наблюдалась 20 февраля и составила 28 см; повторяемость ветра со скоростью 8 м/с и более к этому дню, начиная с даты устойчивого появления льда, равнялась 75%; необходимо определить вероятную толщину наслоенного льда на день расчета (20 февраля).

Подставим исходные данные в (2) и, учитывая, что допустимая ошибка равна ± 12 см, получим расчетную толщину наслоенного льда на 20 февраля, равную 74 ± 12 см.

Для прогноза толщины наслоенного льда воспользуемся уже известной эмпирической формулой, связывающей толщину льда естественного нарастания с суммой градусодней мороза R , примененной Валлером Ф. И. для центральной части Северного Каспия [4]:

$$H_e = 2 \sqrt{R}, \quad (3)$$

где R — сумма градусодней мороза.

Заблаговременность прогноза величины H_e рассчитанной по формуле (3), зависит от заблаговременности используемых прогнозов погоды и колеблется от 1 до 30 сут.

К сумме отрицательных температур за предшествующий период прибавляем ожидаемую сумму отрицательных температур воздуха, по данным прогноза

погоды требуемой заблаговременности. Выполнив расчет по формуле (3), получим величину ожидаемой толщины ровного льда в сантиметрах.

Аналогичным образом поступаем с повторяемостью ветра. К имеющемуся на день составления прогноза фактическому числу дней с ветром со скоростью 8 м/с и более прибавляем число ожидаемых по прогнозу погоды дней с таким же ветром. Подсчитываем общую повторяемость ветра P . Вычисленные таким образом значения P и H_e в зависимости от суровости зимы подставляем в уравнения (1) или (2).

Например, необходимо 1 января 1990 г. составить прогноз толщины наслоенного льда в открытых районах Северного Каспия на месяц вперед, т. е. на 1 февраля.

На 1 января максимальная толщина ровного льда, по данным гидрометеостанций Северного Каспия, равнялась 15 см.

Сумма отрицательных температур со дня перехода средней суточной температуры воздуха к отрицательным значениям до 1 января составила 25°C.

Повторяемость ветра со скоростью 8 м/с и более со дня устойчивого ледообразования (17 ноября 1989 г.) к 1 января 1990 г. достигла 70% (32 дня из 45).

По месячному прогнозу на январь в Северном Каспии ожидаются средние суточные температуры: в 1-й декаде —5, во 2-й—8, в 3-й—10°C ($50 + 80 + 110 = 240$), т. е. по прогнозу на январь сумма отрицательных температур должна увеличиться на 240° и составить 265.

Согласно формуле (3), $H_e = 33$ см, что соответствует критерию нормальной зимы.

Ветер в январе по прогнозу погоды ожидался: в 1-й декаде восточный со скоростью 3—5 м/с, во 2-й — западный 8—12 м/с, в 3-й — восточный 3—5 м/с, т. е. со скоростью 8 м/с и более в январе — 10 дней из 31. За весь период с момента устойчивого ледообразования таких дней наблюдалось 42 ($P = 55\%$). Согласно (2), $H_n = 67$ см. В действительности толщина льда составила 65 см.

МЕТОД КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОЛОЖЕНИЯ КРОМКИ СПЛОЧЕННЫХ ЛЬДОВ НА СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Рассматриваются характерные особенности ледового режима замерзающей северной части Каспийского моря. Для оперативного использования предлагается статистический метод краткосрочного прогноза положения кромки сплоченных льдов с заблаговременностью до 10 сут, разработанный на основе анализа данных ледовых авиаразведок, ИСЗ и синоптического материала.

Каспийское море относится к «частично замерзающим морям», причем, северная часть моря замерзает ежегодно. Ледовый период на Северном Каспии продолжается обычно с ноября по март. В отдельные годы, в зависимости от суровости зимы, начало и конец ледового периода сдвигаются на месяц раньше или позже.

Гидрометеорологические особенности Северного Каспия обуславливают более устойчивое ледообразование в восточных районах акватории по сравнению с западными, что проявляется в различии сроков наступления ледовых фаз и характере развития ледяного покрова в этих районах, расположенных в близких географических широтах.

В нормальных по температурным условиям зимы ледообразование начинается с мелководных восточных районов Северного Каспия в первой половине ноября. В дальнейшем оно распространяется на запад, охватывая почти одновременно мелководные западные участки и предустьевое взморье Волги. К концу первой декады декабря молодые льды простираются на всю прибрежную мелководную зону Северного Каспия до глубины 3 лс. В течение декабря лед появляется и в открытых районах Северного Каспия. Однако распространение его по площади

происходит гораздо медленнее, чем на мелководье, что объясняется более свободным теплообменом с прогретыми водными массами глубоководных районов Среднего Каспия. Поэтому к югу от 45° с. ш., примерно по линии о. Чечень — м. Тюб-Караган, льдообразование наступает лишь в третьей декаде января. Полное замерзание и образование припая, как правило, наблюдается только севернее дугообразной линии, соединяющей о. Чечень и северную оконечность о. Кулалы вдоль изобаты 5м.

В холодные и экстремально холодные зимы неподвижный лед устанавливается на всей акватории Северного Каспия до изобаты 20м. В очень теплые зимы на большей части Северного Каспия устойчивого замерзания не происходит. Зона припая даже в период максимального его развития в январе не выходит за пределы прибрежных мелководных участков. В открытых районах Северного Каспия льда или нет, или он присутствует в виде дрейфующего.

Неподвижный лед на Северном Каспии не является примером классического припая, представляющего собой сплошной ледяной покров, примерзающий к берегу и сохраняющийся в течение всей зимы. На Северном Каспии частичный взлом припая наблюдается ежегодно, а в северо-западных районах моря в среднем каждую третью зиму припай взламывается и устанавливается вновь от берега до видимого горизонта от 4 до 10 раз и более. В центральных районах Северного Каспия (Гурьевская бороздина) отдельные участки припая подвержены взлому, подвижкам и торшению даже в середине зимы. Не менее подвержена динамическим деформациям прикромочная зона припая в районах Кулалинской и Жемчужных банок. Неоднократный взлом припая, его подвижки, торшение и последующее смерзание приводят здесь к образованию мощных торосистых образований льда.

Особое место в формировании и установлении ледяного покрова на Северном Каспии принадлежит дрейфу льда. В целом характер дрейфа льда отличается сложностью, обусловленной малыми глубинами, особенностями рельефа дна, ветровым режимом, влиянием течений и колебаний уровня.

В мягкие зимы, когда припаем занята незначительная часть Северного Каспия, а также в периоды осеннего становления и весеннего разрушения ледяного покрова в умеренные и суровые зимы дрейф льда происходит по направлению ветра с некоторым отклонением от него. Коэффициент дрейфа льда (отношение скорости дрейфа льда к скорости ветра) равен 0,02-0,03.

Коэффициент дрейфа разреженных льдов больше, чем сплоченных. При ветрах северных направлений коэффициент дрейфа больше (0,038-0,066), чем при южных ветрах (0,032-0,042). На мелководных участках на дрейф льда влияет множество препятствий, вызывающих сжатия и разряжения льдов, в результате чего скорость дрейфа уменьшается. Угол отклонения дрейфа льда от направления ветра может быть различным, но чаще всего он составляет 20° . Отмечаются случаи дрейфа льда и против ветра.

В умеренные и особенно в суровые зимы, когда большая часть Северного Каспия покрыта припаем, а дрейфующий лед располагается узкой полосой (шириной 10-20 миль) вдоль его границы, дрейф льда происходит главным образом с востока на запад и юго-запад вдоль кромки припая и вдоль западного берега Каспия. Скорость генерального дрейфа льда около 7км/сут.

Наибольшая скорость дрейфа отмечается при ветрах северо-западного направления. При смене направления ветра на противоположное скорость дрейфа льда уменьшается. При северо-западных и юго-восточных ветрах происходит увеличение сплоченности льда в зоне дрейфа.

В суровые и умеренные зимы в северной части зоны дрейфующих льдов сплоченность уже в декабре составляет 9-10 баллов, в южной же ее части она не превышает 3 баллов. В январе — феврале преобладает сплоченность льда 9-10 баллов, в марте она почти повсеместно уменьшается до 7-8 баллов, на участке Астраханский морской рейд — о. Чечень, наоборот, возрастает до 9-10 баллов. В мягкие зимы сплоченность льда редко достигает 9-10 баллов. Обычно она колеблется от 1-3 до 6-7 баллов.

Процесс разрушения ледяного покрова и очищения ото льда на Северном Каспии весной протекает в направлении, обратном льдообразованию, — с юга на север. Сроки начала и интенсивность разрушения льда зависят от ледовитости моря к концу зимы и совокупности воздействующих на лед гидрометеорологических факторов: ветра, волнения, сгонно-нагонных колебаний уровня, течений, температуры водоемов и воздуха.

В умеренные зимы примерно в середине марта очищаются открытые, а затем мелководные прибрежные участки моря выше 44-45° с. ш. Большая часть устьевоего взморья Волги к юго-западу от о. Укатный освобождается от льда к концу марта. В первой декаде апреля ото льда очищается почти все мелководное побережье Северного Каспия. К середине апреля отдельные скопления сильно разрушенного дрейфующего льда сохраняются лишь в крайних северо-восточных районах моря.

В суровые зимы разрушение ледяного покрова протекает медленно, сроки разрушения припая и очищения западных районов Северного Каспия сдвигаются до первой половины апреля, а восточных — до второй половины апреля. В мягкие зимы процессы разрушения ледяного покрова и очищения ото льда происходят в сроки раньше нормальных.

Сплоченные льды в северной части Каспийского моря (7 баллов и более) вызывают серьезные затруднения при осуществлении зимних плаваний в этом районе. Навигационная обстановка осложняется еще и тем, что ледяной покров динамичен и положение кромки сплоченных льдов весьма изменчиво в пространстве и времени» Главными факторами, влияющими на положение кромки льдов, являются направление и скорость ветра.

Исследования в области краткосрочных ледовых прогнозов на Каспийском море начались в начале сороковых годов в связи с возникшей необходимостью получения сведений об ожидаемых перемещениях границы припая и кромки дрейфующих льдов, что имело важное практическое значение для нужд морских отраслей народного хозяйства и Военно-Морского Флота,

Работа Н.И. Иванова "Метеорологическая обстановка, предшествующая ледоставу и влияющая на скорость распространения ледяного покрова по северной части Каспийского моря" (1941г.)» — одна из первых таких работ.

К сожалению» эти исследования основывались лишь на «теоретических соображениях» не подкрепленных материалами наблюдений, поэтому полученные результаты не нашли практического применения.

В 1943г. И.В. Хатунцевым и М.М. Огановым была предпринята попытка разработать "Метод краткосрочного прогноза положения кромки льда", однако и данный метод не получил практического применения.

Результатам исследований ледовитости и положения кромок льда на Каспийском море посвящены работы Е. С. Каракаш и А. И. Каракаша. Однако эти исследования были направлены на разработку сезонных и месячных ледовых прогнозов. Попыток же разработки метода краткосрочного прогноза положения кромки сплоченных льдов на Северном Каспии больше не предпринималось, хотя потребность в нем существовала давно.

До недавнего времени разработка такого метода была невозможна из-за отсутствия достаточного количества данных о положении кромки сплоченных льдов. Материалы ледовых авиаразведок не удовлетворяли предъявляемым требованиям ввиду их недостаточной частоты. Такая возможность появилась в 1978г. в связи с организацией систематических наблюдений за состоянием ледяного покрова по данным метеорологических спутников Земли (ИСЗ). При отсутствии облачности над Каспийским морем снимки ледяного покрова принимаются практически ежедневно, они существенно дополняют данные ледовых авиаразведок и дают достаточно полное и правильное представление о характере динамических процессов, происходящих в ледяном покрове, о последовательности и величине изменений, вызываемых комплексом гидрометеорологических факторов,

Целью настоящего исследования являлась разработка метода краткосрочного прогноза положения кромки сплоченного льда на основе данных о фактическом положении кромки льда на день прогноза, ожидаемой температуре воздуха z и повторяемости ветра эффективных направлений на ближайшую декаду x .

Для установления зависимостей вида $y = f(x)$ были проанализированы карты ледовых авиаразведок и ИСЗ за период с 1979 по 1987г. Всего использовано 254 карты, из них 87 карт ледовых авиаразведок и 167 карт ИСЗ. Кроме того, проанализированы все синоптические ситуации, приводящие к изменениям положения кромки льда за этот же период.

Надежной связи положения кромки льда с температурой воздуха по пунктам Искусственный, Тюлений, Кулалы, Пешной получить не удалось. Во всех случаях коэффициент корреляции не превышал 0,42-0,44.

Установлено, что наиболее заметное влияние на изменение положения кромки дрейфующего льда на Северном Каспии оказывает штормовой ветер северо-восточного, юго-восточного и юго-западного, северо-западного направлений со скоростью 12м/с и более. Однако удовлетворительной связи получить также не удалось ввиду малого числа случаев повторяемости штормового ветра (коэффициенты корреляции составили 0,14-0,22). Включив в расчет данные повторяемости ветра эффективных направлений без учета скорости, удалось получить практически значимые зависимости. Коэффициенты корреляции при этом составили 0,74-0,75.

Прогностические зависимости (уравнения регрессии) имеют следующий вид: для северо-западной части Каспия (от западного побережья моря до меридиана 50° в. д. включительно):

$$y = 1,4 x - 1,9; \quad (1)$$

для северо-восточной части Каспия (к востоку от меридиана 50° в. д.):

$$y = 2,1 x + 1,3. \quad (2)$$

Здесь y — изменение положения кромки сплоченного льда за декаду в мин; x — повторяемость ветра эффективных направлений за декаду в условных единицах,

Статистические характеристики полученных прогностических уравнений приведены в табл. 1, статистические характеристики прогнозируемого элемента приводятся в табл. 2.

При составлении прогноза используются:

- координаты точек побережья Северного Каспия на опорных меридианах, проведенных через 10мин;
- координаты положения кромки сплоченного льда (сплоченность 7 баллов и более) по данным последней авиаразведки или ИСЗ, полученным накануне составления прогноза;
- ожидаемая повторяемость ветра эффективных направлений на ближайшую декаду по Северному Каспию (без учета скорости) берется из месячного бюллетеня погоды Гидрометцентра Российской Федерации либо из имеющихся прогнозов меньшей заблаговременности.

Таблица 1.
Статистические характеристики зависимостей для прогноза положения кромки сплоченного льда на Северном Каспии.

Прогностическое уравнение	Заблаговременность прогноза, суг	Длина ряда, лет	Коэффициент корреляции	Допустимая ошибка	Обеспеченность, %		
					уравнения	природная	инерционная
(1)	10	28	0,75	1,9	78	11	4
(2)	10	31	0,74	3,5	82	7	3

Таблица 2.
Характеристики прогнозируемых значений положения кромки сплоченного льда на Северном Каспии.

Среднее квадратическое отклонение, мин	Значение, мин			
	среднее	максимум	минимум	амплитуда
Северо-западная часть Каспия - 11,4	3,2	21,2	11,4	9,8
Северо-восточная часть Каспия - 9,2	3,2	26,5	9,2	17,3

Последовательность операций при составлении прогноза следующая:

1. С ледовой карты, полученной накануне составления прогноза, снимаются координаты положения кромки льда на всех опорных меридианах. Разность между широтами положения кромки льда и береговой черты есть расстояние кромки льда от берега в мин или км (1 градус вдоль меридиана равен 111 км).
2. По месячному прогнозу погоды определяется повторяемость ожидаемого преобладающего в ближайшую декаду ветра эффективных направлений. Эта величина x подставляется в уравнения (1) или (2) со знаком плюс или минус. Знак определяется по рис.1 в зависимости от района прогноза и ожидаемого направления ветра.
3. Разница между полученными при расчете по формулам (1) и (2) значениям изменений положения кромки льда y на всех опорных меридианах (мин) и значениями координат точек положения исходной кромки льда даст нам точки положения прогнозируемой

кромки сплоченного льда с заблаговременностью до 10 суток.

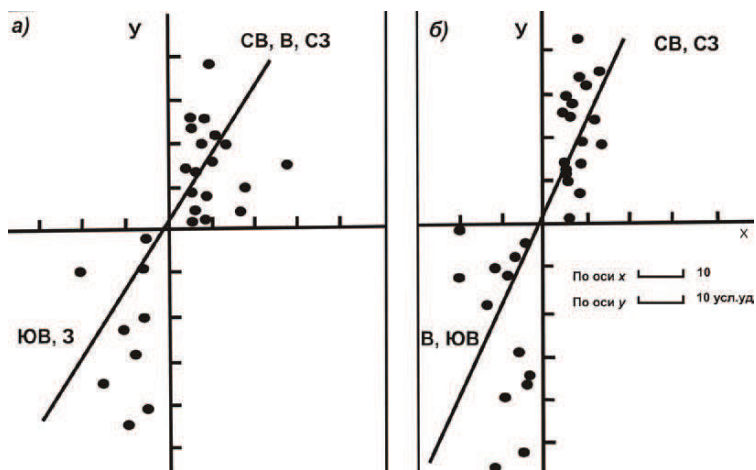


Рис. 1. Зависимости изменения положения кромки сплоченных льдов у направления и повторяемости ветра эффективных направлений x за декаду для северо-западной части (а) и для северо-восточной части Каспия (б).

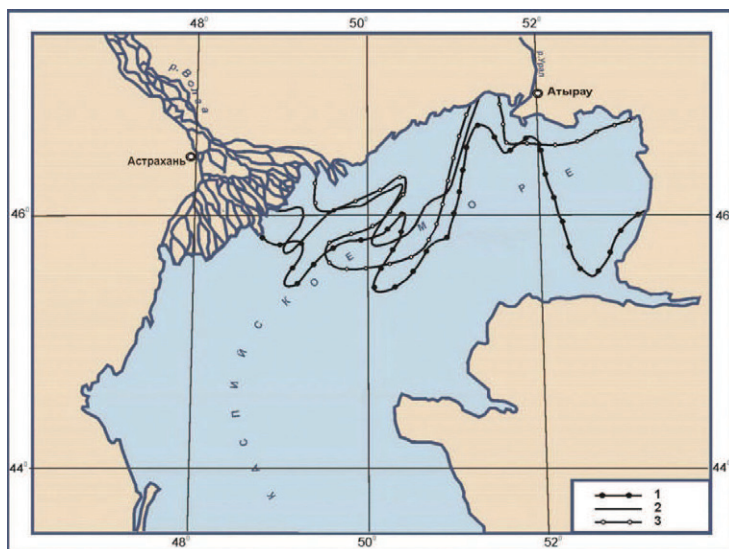


Рис. 2. Карта-схема Северного Каспия.

1 – исходное фактическое положение кромки сплоченных льдов по данным ледовой авиаразведки и ИСЗ за 24 марта 1988 г.; 2 – прогнозируемое положение

кромки сплоченных льдов на 4 апреля 1988 г.; 3 – фактическое положение кромки сплоченных льдов по данным ИСЗ за 5 апреля 1988 г.

Пример составления прогноза: На ледовой карте (на рис. 2, кривая 1) изображено фактическое положение кромки сплоченного льда на Северном Каспии по данным ИСЗ за 24 марта 1988г. Необходимо дать прогноз положения кромки льда через 10 дней (на 4 апреля 1988г.).

Для этого с исходной ледовой карты снимаем координаты кромки льда на опорных меридианах. Например, на меридиане 49°30' в. д. (северо-западная часть Каспия) кромка льда проходит через точку 45°51' с. ш. Аналогично определяем координаты кромки льда на всех опорных меридианах.

По прогнозу погоды на Северном Каспии в конце марта — начале апреля (с 25 марта 1988г. по 4 апреля 1988г.) ожидается ветер преимущественно юго-восточного эффективного направления. Повторяемость ветра x составляет 10%.

По графику (рис. 1а) определяем знак для значения x . Для юго-восточного ветра это нижняя часть графика, чему соответствует знак минус, т. е. $x = -10$.

Полученное значение x подставляем в уравнение (1) и находим тенденцию изменения кромки сплоченного льда на меридиане 49°30' в. д. за декаду:

$$y = 1,4 (-10') - 1,9 = -15,9'$$

Прогнозируемое положение кромки сплоченного льда на 4 апреля 1988г. на меридиане 49°30' в. д. составит:

$$45^{\circ}51' - (-15,9') \approx 46^{\circ}07' \text{ с. ш.}$$

Аналогичным образом находим, соответственно с помощью уравнений (1) и (2), точки прогнозируемой кромки льда на всех опорных меридианах.

Соединив эти точки, получаем прогнозируемое положение кромки сплоченного льда на 4 апреля 1988г. (на рис. 2, кривая 2). Разница широт побережья и прогнозируемой кромки льда позволяет определить расстояние кромки от берега. Фактическое положение кромки льда 5 апреля 1988г. по данным ИСЗ изображено на рис. 2, кривая 3. Минимальное отклонение расчетной кромки льда от фактической на опорных меридианах составляет 0км, максимальное — 20' (38км), среднее 5-7км, что соответствует точности определения положения кромки льда по данным ИСЗ и авиаразведок.

Фактически кромка льда за декаду переместилась на север на расстояние 40-124км.

Предложенный метод прогноза соответствует требованиям «Наставления по службе морских прогнозов» и с 1988г. успешно применяется в оперативном обслуживании морских отраслей народного хозяйства Каспийского бассейна. Оправдываемость прогнозов составляет от 60 до 100%. Особенно важной эта информация стала в связи с тем, что в настоящее время практически прекращено выполнение визуальных авиаразведок на Каспийском море вследствие сокращения финансирования авиаработу резкого увеличения стоимости аренды самолетов, а также из-за отсутствия летательных аппаратов, удовлетворяющих специфическим требованиям визуальной ледовой авиаразведки.

В процессе использования данного метода, возможно его дальнейшее уточнение и повышение оправдываемости прогнозов путем накопления фактического материала по данным ИСЗ. В практической работе морских прогнозистов используются также полученные в ходе выполнения работы карты средних

многолетних, минимальных и максимальных значений положения кромки сплоченного льда за каждую декаду» каждый месяц ледового периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В данной работе изложены основные результаты проведенных автором многолетних исследований, базирующихся как на материалах собственных наблюдений (1975-1999 гг.), так и на материалах литературных источников и архивных данных, посвященных исследованиям слабо изученных зимних гидрологических и ледовых процессов в северной части Каспийского моря. Исследования охватывают период 1927-1999 гг. и приурочены к периодам наиболее значительных современных колебаний уровня Каспийского моря. Гидрологические процессы, происходящие в мелководной северной части Каспия в зимний период имеют ряд специфических особенностей, которые вызваны наличием ледяного покрова. Несмотря на то, что первые исследования были начаты еще в начале 20-х годов, до настоящего времени имеется очень мало работ посвященных изучению этих процессов. Анализ имеющихся по данному вопросу опубликованных работ позволил оценить состояние изученности зимних гидрологических процессов в Северном Каспии как недостаточное. В работе подробно рассмотрены особенности зимних гидрологических процессов в характерные периоды стояния уровня моря:

1927 – 1940 гг. - период катастрофического падения уровня Каспийского моря от отметки минус 26 м.абс., составившее в целом около 2 метров;

1940 – 1959 гг. - период сравнительно небольших колебаний уровня моря на фоне его продолжающегося падения, которое составило в общей сложности еще 50 см;

1959 – 1974 гг. - период сравнительно стабильного уровня моря, колеблющегося у отметки минус 28,40 м.абс. Средние годовые значения уровня отличались от этой отметки не более чем на 25 см;

1974 – 1978 гг. - период самых низких за текущее столетие уровней моря. В 1977 г. средний годовой уровень Каспийского моря достиг минимальной отметки минус 29,04 м.абс.

С 1978 г. - по настоящее время. - современный период значительного и устойчивого повышения уровня Каспийского моря в целом примерно на 2,5 метра. Подробно изучены особенности процессов торошения каспийских льдов. Дана классификация стамух по условиям их образования. Исследованы процессы образования поясов торосов и торосистости льдов, возникновение и развитие заприпайных полыней. Рассмотрены условия и особенности дрейфа льдов, процессы взаимодействия дрейфующих льдов с дном и берегами, формирование зон устойчивого припая. На большом фактическом материале обосновывается вывод о значительном влиянии объемных колебаний уровня моря на межгодовую изменчивость процессов торошения, динамику льдов и зимние гидрологические процессы в целом.

Выявленные прогностические признаки и зависимости реализованы при разработке методов расчетов и прогнозов максимальной торосистости льдов, толщины наложенных льдов, положения границ дрейфующих льдов и др., и, уже в течение ряда лет, успешно применяются в работе оперативных органов гидрометеорологической службы по обеспечению специализированными прогнозами многих морских отраслей народного хозяйства.

В работе рассмотрены достоинства и недостатки традиционных методов наблюдений за ледяным покровом на Северном Каспии. Предложен метод

оперативного использования ТВ снимков ИСЗ в целях изучения морских льдов. Показаны новые возможности, которые дает спутниковая информация в исследованиях зимних гидрологических процессов при ее комплексном использовании с данными, полученными с помощью экспедиционных, стационарных и авиационных методов наблюдений.

Впервые дана подробная характеристика гидрологических явлений, воздействие которых, при достижении ими определенных значений и параметров, представляет серьезную угрозу нормальной деятельности морских отраслей хозяйства в северной части Каспийского моря. Изучены их повторяемость, интенсивность, районы и условия возникновения и распространения. Разработаны критерии оценки опасности этих явлений.

Научные результаты и выводы проведенных исследований вошли в соответствующие разделы коллективной многотомной монографии по Каспийскому морю и в другие научные публикации (в т.ч. зарубежные). Материалы исследований используются автором при чтении лекций в Педагогическом и Техническом Государственных университетах (г. Астрахань), включены в учебные пособия для учащихся школ и студентов вузов. Материалы работы используются при проектировании и строительстве крупных промышленных, гидротехнических и природоохранных объектов в прибрежной зоне Астраханской области, Дагестана, Калмыкии и Казахстана, а также при поисковых работах на шельфе Северного Каспия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СНИМКОВ ИСЗ «МЕТЕОР» ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Северная часть Каспийского моря, к северу от параллели 45° с. ш., ежегодно покрывается неподвижным льдом. Продолжительность ледового периода зависит от суровости конкретной зимы и колеблется в пределах 3—5 месяцев.

В последние годы, в связи с мероприятиями по организации круглогодичной навигации в дельте Волги и на Северном Каспии значительно возросли требования народнохозяйственных организаций к информации о ледовом режиме в этом районе.

В настоящее время ледовые наблюдения на Северном Каспии выполняются на четырех радиометеорологических станциях и одном гидрологическом посту (рис. 1). Ценность этих наблюдений заключается в их непрерывности, однако наблюдать за изменениями ледовой обстановки на этих станциях можно лишь на расстоянии, равном дальности видимости, которая, как правило, не превышает 10—20 км. Таким образом, значительная часть акватории, особенно открытых частей Северного Каспия, стационарными наблюдениями не охвачена.

Этот существенный недостаток стационарных ледовых наблюдений в некоторой степени компенсируют визуальные авиационные наблюдения за ледяным покровом—ледовые разведки, а также исследования, выполняемые непосредственно на льду с помощью вертолетов. Систематические авиационные наблюдения позволяют получать ценный материал о распространении видов и форм льда, его густоте, сплоченности,

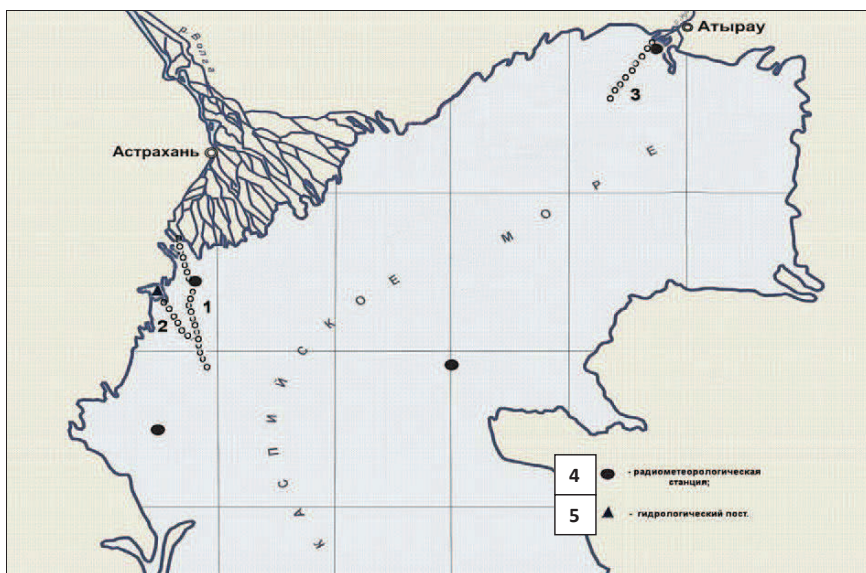


Рис. 1. Схема расположения каналов и стационарных ледомерных пунктов на Северном Каспии.
 1 — Волго-Каспийский канал; 2 — Каспийский канал; 3 — Урало-Каспийский канал;
 4 — радиометеорологическая станция; 5 — гидрологический пост.

толщине и многих других характеристиках на акватории Северного Каспия. Недостаточное количество авиационных наблюдений особенно остро сказывается на качестве обслуживания морского и речного (лота в начале зимы и весной, т. е. в периоды наиболее значительных и быстрых изменений ледяного покрова моря. Недостаток данных, с одной стороны, и возросшие требования народнохозяйственных организаций — с другой, поставили океанологов-прогнозистов перед необходимостью скорейшего освоения и внедрения новых методов в изучении морских льдов с использованием спутниковых данных [1—3]. С 1975 г. в Астраханской зональной гидрометеорологической обсерватории началось освоение приема информации с метеорологических спутников Земли системы «Метеор». За это время накоплен большой опыт приема спутниковой информации, ее расшифровки и интерпретации. В 1980 г. автором была выполнена работа по обработке всех удовлетворительных снимков ледяного покрова Северного Каспия, полученных в январе—апреле с ИСЗ «Метеор-2» 3-й запуск, и составлению на их основе ледовых карт с последующим их применением в оперативных и режимных расчетах. Ввиду отсутствия соответствующей аппаратуры и подготовленных кадров обработка снимков велась простым графо-оптическим методом. Было обработано 36 снимков, с которых получены ледовые карты. Для правильной расшифровки и интерпретации снимков была привлечена вся фактическая ледовая информация с морских станций и данные ледовых авиаразведок. Всего с декабря 1979 г. по март 1980 г. выполнено десять разведок, из них две синхронных и несколько квазисинхронных с данными ИСЗ (рис. 2, 3). Изучение ледовых карт, полученных

таким способом, позволило значительно расширить представление о распределении и динамике ледяного покрова Северного Каспия.

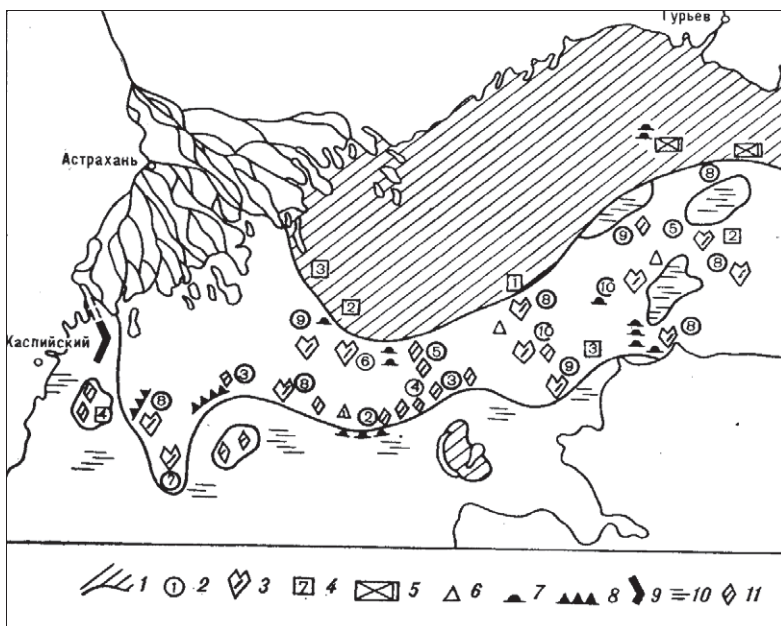


Рис. 2. Карта ледовой авиаразведки Северного Каспия, выполненной 25 марта 1980 г.

1— припай; 2—густота плавучего льда; 3— форма белого плавучего льда; 4—разрушенность льда; 5 — загрязненность льда; 6 — торосистость льда; 7—стамуха 8— гряда торосов; 9 — затор в канале; 10—чистая вода; 11 — тонкий однолетний белый лед.

За довольно продолжительные интервалы времени между двумя последовательными разведками ледовая обстановка на море, как правило, значительно изменяется. Это приводит к тому, что, выполняя очередную ледовую разведку, бортнаблюдатель лишь в общих чертах представляет маршрут полета и часто бывает вынужден принимать решение об изменении запланированного маршрута уже в полете, исходя из фактической ледовой обстановки. Полученные уже накануне авиаразведки снимки ИСЗ значительно упрощают задачу и дают бортнаблюдателю представление о ледовой обстановке. На основе этих данных разрабатывается оптимальный маршрут полета. Экономится летное время, улучшается качество разведок.

Кроме этого, ледовые карты, полученные по данным ИСЗ, позволяют своевременно информировать народно-хозяйственные организации обо всех изменениях в положении кромки льда, границ припая и сплоченных льдов, разводьях и т. д. в промежутках между разведками (за исключением дней, когда акватория Северного Каспия закрыта облачностью и использование спутниковых снимков ограничено или совсем невозможно).

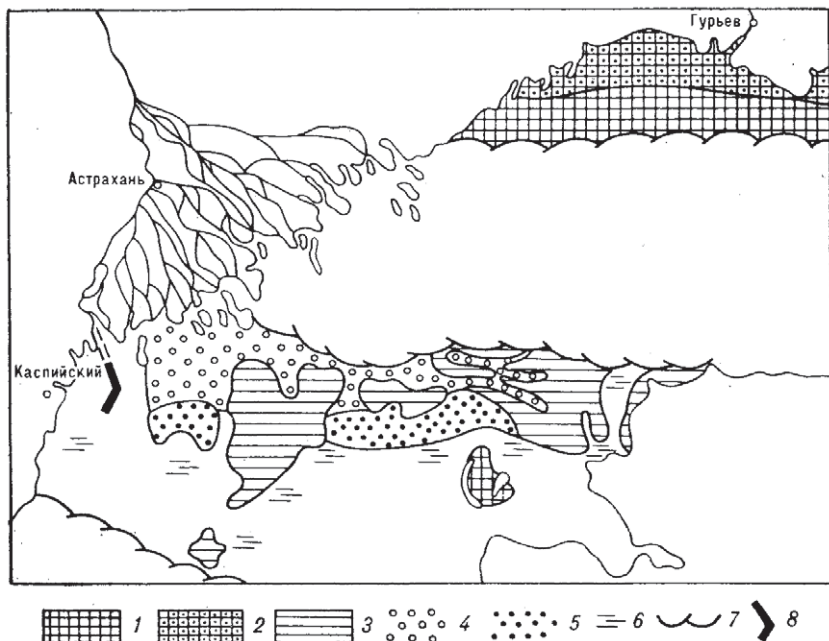


Рис 3. Ледовая карта, построенная по данным ИСЗ «Метеор» от 25 марта 1980 г.
 1 - припай; 2 — загрязненный припай; 3 — плавучий лед густотой 8—10 баллов;
 4 — плавучий лед густотой 4—7 баллов; 5 — плавучий лед густотой 1—3 балла; 6— чистая вода; 7 — граница облачности; 8 — затор в канале

Благодаря спутниковым данным океанологи получили возможность проследить изо дня в день последовательные изменения в распределении льдов на всей акватории Северного Каспия, чего не мог дать ни один из известных традиционных методов наблюдения за ледяным покровом. Так, например, было установлено, что:

— плавающие льды Гурьевской бороздины даже во время сильного дрейфа под действием сильных восточных ветров не распространяются в западную часть моря, так как этому препятствует мелководный Бузачинский порог, делящий Северный Каспий на западную и восточную части. Дрейф льдов ограничен размерами бороздины;

— прослежена последовательность процессов весеннего взлома припая на Гурьевской бороздине;

— намечена тесная связь между образованием и положением каналов, разводий и заприпайных полыней с направлением, скоростью и продолжительностью действия ветра в этом районе;

— подтверждена возможность обнаружения районов и определения границ загрязненного припая;

— выявлен устойчивый ледяной массив, расположенный между островами Чистая Банка и Малый Жемчужный (маложемчужнинский ледяной массив);

— установлена возможность обнаружения и примерной протяженности весенних заторов льда в морской части Волго-Каспийского канала (после очищения западного мелководья ото льда).

В заключение отметим, что использование спутниковой информации в оперативной практике и для определения ледового режима на Северном Каспии безусловно является перспективным делом. Уже сейчас можно с уверенностью сказать, что применение даже самого простого графо-оптического метода составления ледовых карт позволяет определять положение границ льдов, заприпайных полыней, сплоченных и разреженных льдов с такой же точностью, а в некоторых случаях и с более высокой, чем при самолетных наблюдениях.

Практика показала, что средняя информативность ледовой карты, полученной по данным ИСЗ, в среднем составляет 30 % информативности ледовой авиаразведки (информативность ледовой разведки принята за 100%). Экономическая эффективность от использования данных ИСЗ с января по апрель 1980 г. составила 3240 руб.

Разумеется, широкое использование спутниковой информации не заменит со временем традиционных методов наблюдений. Более жесткая зависимость от метеорологических условий (облачности, тумана), невозможность определения ряда очень важных для практических целей характеристик ледяного покрова: торосистости, формы, разрушенности и др. из-за относительно низкой разрешающей способности спутниковой аппаратуры не позволяют отказаться от других видов наблюдений. Очевидно, единственно правильное решение заключается в том, чтобы все средства наблюдения использовались наиболее полно, совместно, взаимно дополняя и уточняя друг друга.

Новые данные, полученные с помощью ИСЗ, помогут океанологам в изучении ледового режима Северного Каспия, а также в разработке прогнозов элементов ледового режима в интересах народного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

Ангелопуло П.П. Состояние изученности процессов заторообразования.— Труды ЛГМИ, 1969, вып. 36.

Барабаш А.К. Осенние заторы льда на Нижней Волге и в ее дельте. — Труды Гидрометцентра СССР, 1974, вып. 117.

Барабаш А.К. Влияние Волгоградского водохранилища на сроки появления льда и продолжительность ледохода на р. Волге ниже Волгограда и в ее дельте.— Труды IV Всес. гидрол. съезда, т. 7, Л.,— Гндрометеоиздат, 1976.

Бухарицин П.И. Использование телевизионных снимков ИСЗ «Метеор» для изучения ледовой обстановки на Северном Каспии. - Труды ГМЦ СССР, вып.255, 1983.

Бухарицин П.И. Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря. – Водные ресурсы, №6, 1984.

Бухарицин П.И. Расчет и прогноз толщины наслоенного льда в судоходных районах северо-западной части Каспийского моря. - Метеорология и гидрология, №4, 1986.

Бухарицин П.И. Сезонный прогноз торосистости льдов Северного Каспия. Труды ГМЦ СССР, вып.292, 1988.

Бухарицин П.И., Васянин М.Ф., Калиниченко Л.А. Метод краткосрочного прогноза положения кромки сплоченных льдов на Северном Каспии. - Метеорология и гидрология, №4, 1992.

- Бухарицин П.И. Метод расчета и прогноза толщины наслоенного льда в открытых районах Северного Каспия. - Водные ресурсы, N5, 1992.
- Бухарицин П.И. (в составе авторского коллектива) Монография по проекту «Моря», том У1 Каспийское море, вып.1, гидрометеорологические условия, разделы: 1.1; 8.4.3; 8.4.4; 10.3.1; 14.1; 14.2. Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1992.
- Бухарицин П.И. Опасные гидрологические явления на Северном Каспии. – Водные ресурсы, том 21, N4, 1994.
- Bukharitsin P. Marine floods in the Caspian sea's northers part. Материалы международной конференции TIEMS (Ница, 1995).
- Бухарицин П.И. Гидрологические процессы в Северном Каспии в зимний период. – Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук, М, 1996.
- Веселова Л.Е. Ледяной покров Каспийского моря, условия его образования и развития. – Труды ГОИН, вып. 24, 1956.
- Валлер Ф.И., Егоров И.Г. О преобладающем переносе вод Северного Каспия в навигационный и ледовый периоды. – Труды Астраханской ЗГМО, вып. 2, 1980.
- Валлер Ф.И. Прочность ледяного покрова Северного Каспия. – Труды Астраханской ЗГМО, вып. 2, 1980.
- Валлер Ф.И. Некоторые черты ледового режима северной части Каспийского моря. Сборник работ Астраханской ГМО, вып. I, 1970.
- Валлер Ф.И. Альbedo льда Северного Каспия. Сборник работ Астраханской ГМО, вып. I, 1970.
- Валлер Ф. И. Ледовые условия на севере Каспийского моря в очень суровую зиму 1968/69 г.—В кн.: Исследования льдов южных морей СССР. М., Наука, 1973.
- Герштанский Н.Д. О затоплении западного берега Северного Каспия при нагонах. – Труды Астраханской ЗГМО, вып. 2, 1980.
- Горский Н.Н. Гидрологический режим Северного Каспия. - Исследование морей СССР, вып. 24, 1936.
- Генкин З.А., Шмелева Л.А. Разработка рекомендаций по предупреждению и борьбе с заторами и зажорами льда на р. Амударье.—В сб.: Научные исслед. по гидротехн. в 1969 г., т. 2, Энергия, 1971.
- Горюнов В., Пержицкий В.В. Ледово-термический режим нижней Волги после сооружения Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС и образования Волгоградского водохранилища. — Метеорология и гидрология, 1967, № 7.
- Донченко Р. В. Закономерности формирования зажоров льда в нижних бьефах ГЭС.— Труды ГГИ, 1974, вып. 219.
- Донченко Р.В., Баюсова М.И. Оценка изменения условий формирования зажоров в нижнем бьефе Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС. — Труды ГГИ, 1973, вып. 201.
- Донченко Р.В., Филиппов А. М., Баюсова М.И., Чачина Н.С. Исследования и расчеты интенсивности шугооб-разования и зажорных явлений на зарегулированных участках рек. — Труды IV Всес. гидролог. съезда, т. 6, Л., Гидрометеоиздат, 1976.
- Доценко Р.В. Условия образования заторов льда в нижних бьефах. —Труды ГГИ, 1975, вып. 227.
- Карпович В.Н. Прогноз максимальных уровней воды при заторах льда на р. Днестре и городов Могилев-Подольский и Сороки. — Труды Гидрометцентра СССР, 1975, вып. 140.
- Лебедев В.В., Медрес П.Л. Зажоры на Неве. — В сб. работ Ленингр. гидрометеорол. обсерв., 1966, вып. 3.

- Лурье П.М. О зазорах на р. Амударье и вызванном ими небывалом подъеме уровня воды в январе 1969 г.—Сб. работ Ашхабад, гидрометеорол. обсерв., 1971, вып. 6.
- Нежиховский Р.А., Ардашева Г.В. Расчет максимальных зазорных уровней р. Невы.—Труды ГГИ, 1970.
- Нежиховский Р.А., Ардашева Г.В., Саковская Н.П. Прогнозы максимальных заторных уровней воды р. Днестра на участке г. Могилев-Подольский — г. Дурбоссары.—Труды ГГИ, 1974, вып. 218.
- Нежиховский Р.А. Типы замерзания рек и типы зазоров льда. — Метеорология и гидрология, 1974, № 2.
- Нежиховский Р.А., Саковская Н.П. Прогноз максимального заторного уровня воды р. Северной Двины у Архангельска.—Труды ГГИ, 1972, вып. 197.
- Нежиховский Р.А., Саковская Н.П., Ардашева Г.В. Прогнозы максимальных заторных уровней воды в местах ежегодного образования заторов. — Труды IV Всес. гидролог. съезда, т. 7, Л., Гидрометеиздат, 1976.
- Нежиховский Р.А., Саковская Н.П. Прогнозы максимальных заторных уровней воды рек Северной Двины и Немана. — Труды ГГИ, 1975, вып. 227.
- Нежиховский Р.А., Бузин В.А. Условия образования и прогнозы заторов льда на реках. — Метеорология и гидрология, 1977, № 5.
- Пержинский В.В. Заторные явления на Волге у Черного Яра. — Метеорология и гидрология, 1970, № 8.
- Пержинский В.В. Затор льда у г. Волгограда в зимний период 1966— 1967 гг.— В сб. работ Волгогр. гидрометеорол. обсерв., 1970, вып. 1.
- Филиппов А.М. Экспериментальные исследования динамики образования заторов льда в нижних бьефах ГЭС. — Труды ГГИ, 1975, вып. 227.
- Чижов А.Н., Дерюгин А.Г., Лазаревская В.И., Пономарева О.Ф., Альтшулер Ы. В. Условия образования заторов льда на р. Днестре. — Труды ГГИ, 1975, вып. 201.
- Щербак А.В., Солоненко Л.И. Условия формирования заторно-зазорных явлений в низовьях р. Дуная.—Труды УкрНИГМИ, 1972, вып. 116.
- Афанасьев В.П. Оценка толщины напластованного льда. — Метеорология и гидрология, 1979, № 10.
- Бетин В.В. Расчет главных элементов ледяного покрова Балтийского моря. — Сборник работ Ленинградской ГМО, вып. 11, Л., 1963.
- Киселев А.А. Исследование интенсивности нарастания толщины ледяного покрова в условиях температурных волн.— Труды ГГИ, 1978, вып. 248.
- Лукьянова Л.В. Льды Каспийского моря и их физико-механические свойства: Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. географ. наук. — Баку, 1964.
- Соловьев Д. В. Некоторые особенности ледообразования на Каспийском море и синоптические процессы, их обуславливающие. — В кн.: Исследования льдов южных морей СССР, М., Наука, 1973.
- Parmerter R., Reid A. A model of simple rafting in sea ice. — J. Geophys Res., 1975, vol. 80, No. 15.
- Атлас льдов Каспийского моря. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 78 с.
- Лукьянова Л. В. Некоторые данные о свойствах льда Каспийского моря//Тр. ТбилНИГМИ. 1961. Вып. 9. С. 192—195.
- Наставление по службе прогнозов. Служба морских гидрологических прогнозов. Ч. III. Раздел 3. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 143 с.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Ч. I. Вып. 9. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 311 с.

- Соловьев Д.В. Некоторые особенности ледообразования на Каспийском море и синоптические процессы, их обуславливающие//Исследования льдов южных морей СССР. М.: Наука, 1973. С. 52—56.
- Тютнев Я.А. О тяжелых ледовых условиях на Черном, Азовском и Каспийском морях зимой 1971/72 г.//Тр. ГМЦ СССР. 1975. Вып. 119. С. 47—53.
- Бенашвили И.А. Методика ледовых прогнозов для Каспийского моря. — Вопросы морских гидропрогнозов, 1941, вып. 1.
- Веселова Л.Б. Ледяной покров Каспийского моря, условия его образования и развития. — Труды ГОИН, 1956, вып. 24.
- Каракаш Е.С. Об изменчивости ледовитости и положения кромки льда на Каспийском море. — Труды ГОИН, 1960, вып. 54.
- Каракаш Е.С. Об изменчивости положения кромки льда в Северном Каспии и возможности ее предсказания. — Труды ГОИН, 1964, вып. 76.
- Каракаш А.И. Ледовые прогнозы на неарктических морях. — Морские прогнозы и расчеты (материалы Всесоюзного совещания, ноябрь 1963 г.). Труды ЦИП, 1965, вып. 142.
- Каракаш А.И. Ледовые прогнозы на неарктических морях СССР. — Труды Гидрометцентра СССР, 1969, вып. 51.
- Каракаш А.И., Короб М.И. О прогнозе ледовитости неарктических морей СССР. — Труды Гидрометцентра СССР, 1988. вып. 292.
- Бушуев А.В., Волков Н.А. Метеорологические искусственные спутники Земли как средство наблюдения за льдами.— Проблемы Арктики и Антарктики, 1970, вып. 33, с. 5—12.
- Колдыбаев О., Саликова Д.Х. Опыт использования данных метеорологических спутников Земли для изучения ледовой обстановки на Аральском море—Труды ГГИ, 1976, вып. 237, с. 57—60.
- Темников С.Н. О возможности использования спутниковых фотографий при картировании снежного и ледяного покрова.—Океанология, 1973, № 3, с. 517—523.
- Архипова Е.Г., Любанский В.А., Резникова Л.П. Основные особенности температурного режима Каспийского моря и его районов. - Труды ГОИН, 1958, вып.43, с.53-100.
- Архипова Е.Г. Возможные изменения термического режима Каспийского моря в связи с понижением его уровня. - Труды Океанографической комиссии АН СССР, 1959, т.5. с.79-85.
- Гюль К.К. Состояние изученности ледового режима Каспийского моря и перспективы его дальнейшего изучения. - В кн.: Исследования льдов южных морей СССР. - М.: Наука, 1973, с. 7-17.

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ И СЕВЕРНОМ КАСПИИ ЗИМОЙ 2003/2004 гг.

По существующей для Нижней Волги и Северного Каспия типизации зим по степени их суровости прошедшая зима 2003/2004гг. характеризуется в целом как теплая (табл. 1.).

Таблица 1.

Типизация зим по степени их суровости – сумме градусо-дней мороза за холодный период (Σ -твозд.ср.сут. °С) по Астрахани

Очень суровая зима (ОС)	Суровая зима (С)	Умеренная зима (У)	Мягкая зима (М)	Очень мягкая зима (ОМ)
Более 900	900-700	700-400	400-100	Менее 100

Сумма отрицательных температур по пункту Астрахань за зиму 2003/2004гг. составила минус 55,7°С, по пункту Пешной (на северо-востоке Каспия) – минус 211,8°С, что в целом по Северному Каспию оценивается как «мягкая» (М) зима.

Следует отметить, что столь малая сумма отрицательных температур за последние 50 лет по пункту Астрахань была зарегистрирована впервые, а «очень суровая» зима на Северном Каспии последний раз наблюдалась в сезон 1968/1969гг. Таким образом, за последние 35 лет «очень суровых», и даже «суровых» зим не отмечалось.

Период предзимья прошедшей зимы отличался довольно высокими температурами воздуха на Нижней Волге и Северном Каспии. В конце ноября средняя суточная температура воздуха по Астрахани и области была еще положительной и составляла 3,3°С, в то время как севернее уже стояли морозы. В результате неустойчивых синоптических процессов ледообразование на Нижней Волге и в Северном Каспии происходило медленно и с осложнениями, характерными для мягких зим в условиях зарегулированного стока.

Осеннее-зимние заторно-зачорные явления на Нижней Волге в условиях зарегулированного стока, в большей или меньшей степени, наблюдаются практически ежегодно. Они связаны со значительным изменением ледо-термического режима Волги, а также режима расходов и уровней воды, последовавшим за сооружением Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС, и образованием Волгоградского водохранилища.

Типичная для «мягкой» зимы ситуация возникла, в связи с поздним и продолжительным ледоходом в низовьях Волги, в январе 2004г. Образовавшиеся 17-18 января ледяные заторы парализовали движение судов на Волге в районе Енотаевки (на перекатах Селетренний, Шомбайский и Замьяновский). Увеличенные сбросы воды Волгоградской ГЭС привели к интенсивному подъему уровня выше заторов. За трое суток вода поднялась почти на 1,5 метра. Огромные массы льда в заторе стали сдвигаться под напором воды вниз по течению со скоростью до 3,5 узлов (6-7 км/час). Благодаря работе ледокола «Капитан Букаев» эти суда были вызволены из ледового плена. Однако, в ночь с 19 на 20 января, движущимися массами льда сорвало со швартовых суда, стоявшие у причалов грузового района Солянка и Астраханского морского рыбного порта. И вновь помогли ледоколышки, не допустившие навала беспомощных, дрейфующих вместе со льдом судов на опоры железнодорожного моста через Волгу. Однако, не все прошло благополучно. Ледяной шугой был сорван и унесен далеко вниз по течению понтонный мост через рукав Ахтуба, связывающий село и хутора Волго-Ахтубинской поймы с левым берегом Волги.

Развитие ледовых процессов в море в декабре происходило в основном на северо-востоке Каспия. Устойчивое появление льда там было отмечено 1-3 декабря в мелководной прибрежной зоне. Граница неподвижного льда к концу месяца проходила примерно по 2-х метровым глубинам, а его толщина составляла около 20 см.

В северо-западной части Каспия, по данным гидрологического поста Лагань, лед в виде ниласа, появился лишь 10 января, и сохранялся в течение 10 дней. 20 января началась ледокольная проводка караванов судов по ВКК из порта Астрахань на Каспий, до кромки льда, и обратно. В течение всего месяца в ВКК, в районе о. Искусственный сохранялась сложная для плавания ледовая обстановка – густой ледоход, с образованием местами протяженных заторных перемычек.

Незначительное усиление ледовых процессов на Северном Каспии и в дельте Волги произошло в первой половине января. В низовьях Волги появление первых ледяных заберегов было отмечено в первой декаде месяца, что по срокам значительно позже средних, многолетних дат. По температурному режиму январь был легче нормы, наибольшие морозы сохранялись на северо-востоке моря, за счет чего кромка льда постепенно смещалась к югу. Граница неподвижного льда (припая) проходила по 2-3 метровым глубинам. К концу января кромка сплоченных плавучих льдов по данным ИСЗ сместилась на юг и проходила по 5-ти метровым глубинам (рис. 1.). Расчетная толщина льда на 23 января составила в северо-восточной части Каспия 22 см, в северо-западной части наблюдался лед преимущественно в виде ниласа толщиной 5-10 см.

Под воздействием частых штормовых ветров переменных направлений и морских течений в течение января кромка плавучих льдов постоянно меняла свое положение. В море происходил интенсивный дрейф, подвижки и торошение льда. Этому способствовали значительные сгонно-нагонные колебания уровня, размах которых, при отсутствии сдерживающего влияния ледяного покрова, достигал 1,5-2,0 метров. Вдоль морского края дельты Волги, на глубинах 3-4 м образовались большие стамухи - торосистые образования, сидящие на грунте (рис. 2.).

Максимального за сезон развития ледяной покров достиг в первой декаде февраля. В это время граница неподвижного льда проходила по 3-4-х метровым глубинам, а кромка сплоченных плавучих льдов – примерно по 10-ти метровой изобате. Основная масса серо-белого и серого льда находилась в северо-восточной части Каспия. На западе вдоль берега преобладал светлый и темный нилас сплоченностью 6-8 баллов, в районе о. Искусственный – сплоченностью 4-6 баллов. На конец февраля толщина льда в северо-восточной части Каспия составила 20-30 см, в северо-западной – 5-10 см.

В течение февраля на Северном Каспии работала группа ученых из Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (С-Петербург). Целью их исследований являются стамухи, образование которых представляет реальную угрозу безопасности деятельности нефтяных компаний в мелководных водах Северного Каспия. Ежедневно группа, с большим количеством научного оборудования и приборов, на вертолете доставлялась в район работ и высаживалась на лед. Вечером вертолет забирал их обратно (рис. 3.).

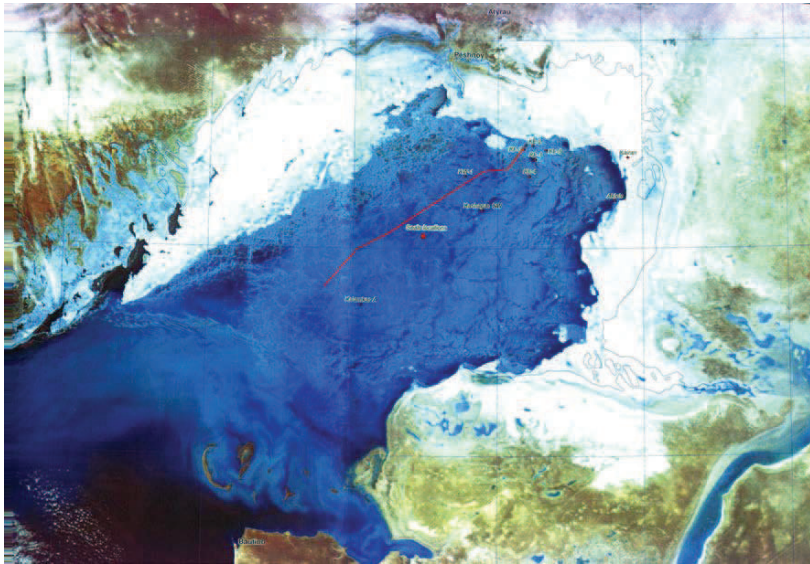


Рис.1. Ледовая обстановка на Северном Каспии по данным ИСЗ от 30 января 2004 г.



Рис. 2. Стамуха на Северном Каспии.

В феврале и первой половине марта происходил многократный взлом припая, интенсивный дрейф и торошение плавучих льдов. Со второй декады февраля началось и термическое разрушение (таяние) льда. Плавучие льды из темного и светлого ниласа в северо-западной части моря полностью растаяли. Серо-белый лед сплоченностью 7-8 баллов и разрушенностью 1-2 балла в основном сохранился в районе Гурьевской бороздины. Припай сохранился вдоль северного и северо-восточного побережий. Между припаем и плавучим льдом образовалась обширная заприпайная полынья, положение и размеры которой часто менялись в зависимости от направления и скорости ветра. Во второй половине марта на Гурьевской Бороздине и вдоль северо-восточного побережья происходил дрейф льдин, и их обломков сплоченностью 6-10 баллов, при толщине льда до 20 см и разрушенностью 2-3 балла.



Рис. 3. Исследовательские работы на каспийском льду.

Очищение моря ото льда происходило в северо-западной части – в середине марта, в северо-восточной части – в конце марта-начале апреля (таблица 2).

Таблица 2.

Даты наступления основных ледовых фаз по пунктам Северного Каспия.

Пункты	Самые поздние даты появления льда	Даты появления льда зимой 2003/2004гг	Средние многолетние даты очищения ото льда	Даты очищения ото льда зимой 2003/2004гг
Астрахань	18.01	09.01	22.03	05.03
о.Искусственный	18.12	03.02	21.03	25.03
Лагань	н/с	10.01	н/с	20.01
о.Чистая Банка	20.12	10.01	н/с	н/с
о.Тюлений	3.01	н/б	17.03	н/б
о.Кулалы	29.01	03.02	17.03	20.03
Атырау	18.12	03.12	02.04	н/с
о.Пешной	16.12	01.12	01.04	02.04

Примечание: н/с – нет сведений; н/б – не было.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, зима на Северном Каспии в 2003/2004гг., по характеру происходящих ледовых процессов, в целом относится к теплым или «мягким» зимам. При более детальном рассмотрении можно выделить два района: северо-западную часть (здесь ледовые процессы были очень слабыми и непродолжительными) и северо-восточную часть (в этой части моря ледовые процессы происходили более интенсивно, но слабее, чем в «умеренные» зимы).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ ПО МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ ЛЕДОВЫХ АВИАРАЗВЕДОК И СНИМКАМ ИСЗ

Динамические деформации ледяного покрова являются следствием нарушения целостности неподвижного льда, вследствие чего происходит взлом припая (на разных стадиях его развития) и последующее перераспределение плавучего льда под действием ветра, течений, волнения и изменений уровня моря. Решающее значение в возникновении динамических деформаций ледяного покрова на Северном Каспии имеет ветер, поэтому преобладает ветровой дрейф льда, усиливаемый на отдельных участках моря течениями. Направление генерального дрейфа в различные зимы сравнительно устойчиво. Изменяется лишь южная граница плавучего льда, которая смещается в суровые зимы к югу, а в теплые – к северу. Ниже приводятся типовые схемы генерального дрейфа льда по [1] (рис. 1).

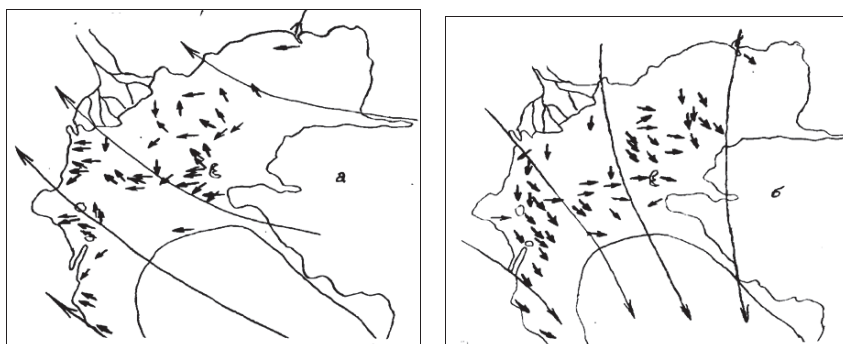


Рис. 1. Типовые схемы генерального дрейфа льда а) при юго-восточном поле ветра; б) при северо-западном поле ветра.

В конкретных гидрометеорологических условиях общая картина дрейфа усложняется в результате неустойчивости направления и скорости ветра и течений. Дрейфующий лед увлекает за собой поверхностные слои воды, вызывает подледные течения, влияющие на скорость дрейфа. На движении льда сказываются и ветровые нагоны, создающие уклон уровня моря, приводящий к компенсационным течениям, искажающим дрейф.

Для получения детальной картины динамики ледяного покрова в различные по степени суровости зимы, а также для отдельных районов Северного Каспия, удаленных от пунктов наблюдений была проведена обработка архива карт спутниковых снимков и частично ледовых авиаразведок [2].

Для построения электронных карт используется ArcView GIS, предоставляющая готовый набор средств. Все пространственные данные имеют формат шейп-файла ArcView и расширение .shp. Для построения используются шейп-файлы самой программы и вновь созданные, а также табличные данные в формате dBASE. Уровень Каспийского моря соответствует отметке –27.00 м.

Анализ снимков ИСЗ, сделанных в периоды существования ледяного покрова, позволяет определить направление и скорость генерального дрейфа. Анализ проводится по изменению местоположения участков кромок дрейфующих льдов.

Материалы космических съемок сравнивались с данными авиаразведок в наиболее близкие даты. Приведение к единому масштабу и трансформация изображений и схем авиаразведок осуществлялись по очертаниям контуров моря и выбранным хорошо заметным опорным точкам.

Ниже приведен пример тематически обработанных данных ледовой авиаразведки Северного Каспия за 30 января 1984г. (рис. 2) и спутникового снимка, полученного 3 февраля 1984г (рис. 3).

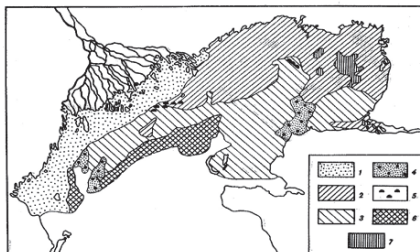
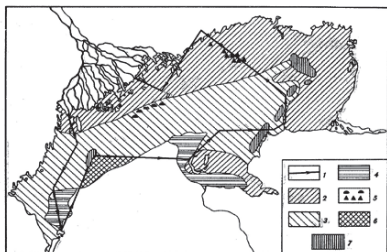


Рис. 2. Ледовая обстановка по данным авиаразведки от 30 января 1984г. Рис. 3. Ледовая обстановка за 3 февраля 1984г. по данным ИСЗ.

Сравнение двух снимков, полученных с интервалом в 4 суток, показывает, что идентифицированные участки границ дрейфующих льдов (на схемах они обозначены сплошной линией) сместились на значительное расстояние.

Как видно из сопоставления этих схем, конфигурация береговой линии и опорных участков идентичная. Состояние льда, по данным ледовой авиаразведки на 30 января 1984 г., было следующее. Граница припая льда проходила по координатам 45°25' с.ш., 47°30' в.д., 46° с.ш., 51°25' в.д., 51°50' в.д. Западнее меридиана 49° припай состоит из темного и светлого ниласа, восточнее 49° он состоит из серого льда. Разрушенность припая составляет 1 балл, а торосистость — 0-2 балла. Координаты плавучего льда: 44°; 47°40'—44°30'; 47°50'-45°13'; 49°45'-44°53'; 50°10'. Плавучий лед в форме полей, обломков полей темного и светлого ниласа, мелкобитый тертый лед у кромок. Повсеместно наблюдается вкрапление полей и обломков полей серого льда, их сплоченность 7-10 баллов, торосистость 1-2 балла. На юго-востоке Гурьевской бороздины много разводий, на банках встречаются стамухи, на границе припая и плавучих льдов гряды торосов. В рукаве Бахтемир ледостав с полыньями, в излучинах — ледовые переемычки.

Анализ материалов ледовых разведок и телевизионных снимков с ИСЗ показал, что в зависимости от яркости изображения на телевизионных снимках можно различить пять видов льда.

1. Неподвижный лед (припай) — изображение монотонно однородное, бесструктурное, светлого тона, хорошо видно во всех спектральных зонах. На рис. 2 припай занимает площадь, примыкающую к побережью между дельтами Волги и Урала, и район восточнее дельты р. Урал.

2. Плавучий лед в виде светлого и темного ниласа, в форме полей и обломков полей, сплоченностью 7-8 баллов — изображение немного темнее, чем припай,

испещрено прожилками более темного цвета. Повсеместно вкраплены поля и обломки полей серого цвета. Торосистость 1-2 балла. Раздробленность льдов лучше определяется в диапазоне 0,7-1,1 мкм.

3. Битый плавучий лед хорошо виден в диапазоне 0,5-0,6 мкм и едва заметен в виде легкой вуали в диапазоне 0,7-1,1 мкм. На схеме авиа обследования битый лед совсем не отмечен, несмотря на то, что в данном районе проходил маршрут полёта.

4. Раздробленный битый лед в виде ледяной каши плавающей под водой напоминает сугу в реке (вероятно, это всплывающий внутриводный лед), и виден только в диапазоне 0,5-0,6 мкм.

5. Торосы и стамухи на снимке представлены как ослепительно белые мелкие пятна, особенно хорошо видные в диапазоне 0,7-1,1 мкм. Зоны их распространения приурочены к северу вдоль дельты р. Волги, на границе между припаем и основной массой льда. Еще один ряд торосов располагается между дельтами Волги и Урала, параллельно линии берега у восточного края дельты р. Волги. Третий ряд торосов прослеживается вдоль северной и восточной границ Уральской бороздины. В схемах авиаразведок торосы и стамухи в этом районе не также не были отмечены.

Выводы

1. Картографирование положения кромки льда при использовании телевизионных снимков ИСЗ типа "Метеор-30" дает более точные результаты, чем при авиаразведках, так как при авиаразведках невозможна точная привязка и особенно грубые ошибки возможны при сложной конфигурации различных видов льда.

2. Дешифрирование ледяного покрова по аэрокосмическим данным позволяет районировать ледяной покров на обширных территориях и выделять до 5 его разновидностей. По данным телевизионных съемок со спутников типа "Метеор" легко прослеживаются и картируются проталины на льду, трещины, полыньи; по фототону изображения выделяются припай, плавучий лед различной сплоченности в форме полей и их обломков, ледяная каша, торосы, стамухи и др.

3. Границы раздела вода—лед и лед—суша (без снега) лучше всего прослеживаются в диапазоне 0,7-1,1 мкм.

4. Телевизионная съемка со спутников типа "Метеор" позволяет получить представление о динамике, положении и состоянии льдов за предыдущий период, так как лед, обладая известной инерционностью, служит показателем предыдущей метеорологической обстановки (ветер, снегопады и др.), что в материалах авиаразведок не обнаруживается.

Для более детального графического представления ледовой информации применен формат JPEG с 24 цветной палитрой.

По каждой конкретной ледовой съемке создаются два графических файла:

- тематически обработанные снимки ИСЗ;

- карта распределение льдов, дополненная данными о возрасте льда, его толщине, сплоченности, а также метеорологическими характеристиками, полученными с помощью подспутниковых наблюдений.

Создание электронного банка спутниковой информации позволяет решать задачи по определению типовых ситуаций скоростей и направлений дрейфа льда, процессов сжатия и разряжения льда, образования заприпайных полыней и т.п. практически в любой точке акватории моря при различных полях ветра.

На первом этапе обработано и занесено на магнитные носители в графическом и цифровом виде около 400 ледовых карт за период наблюдений с 1978 по 2006 гг. Такое представление информации позволяет непосредственно вычислять динамические характеристики ледяного покрова на определенную дату в конкретном районе акватории моря и получать статистически значимые оценки характеристик ледового режима для практических целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарицин П.И. Гидрологические процессы в Северном Каспии в зимний период // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. М, - 1996. 61с.
2. Бухарицин П.И. Работа над созданием макета электронного атласа ледовых явлений и образований низовьев Волги и Северного Каспия. // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. - №1 (14) 2006. Издательский дом «Астраханский университет», - 2006. С. 33-45.
3. Alexei V. Kouraev, Fabrice Papa, Nelli M. Mognard, Petr I. Buharizin, Anni Cazenave, Jean-Francois Cretaux, Julia Dozortseva, and Frederique Remi. Synergy of Active and Passive Satellite Microwave Data for the Study of First-Year Sea Ice in the Caspian and Aral Seas. // IEEE transactions on Geoscience and remote sensing a publication of the IEEE geoscience and remote sensing society, October 2004, Volume 42, Number 10, IGRSD2 (ISSN 0196-2892) Special issue on the 2003 international geoscience and remote sensing symposium (IGARSS'03): Learning from earth's shapes and colors. 2004. P. 2170-2176.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ³

Каспийское море по своему режиму характеризуется большой пространственно-временной неоднородностью своих параметров вследствие его значительной протяженности (1200 км.). Еще одна отличительная особенность Каспийского моря – наличие ледяного покрова. Каспий относится к морям с сезонным ледяным покровом.

Как правило, ежегодно, льдом покрывается мелководная северная часть моря. Продолжительность ледового периода зависит от суровости конкретной зимы и составляет: в мягкие зимы от 20 дней на юго-западе до 110 дней на северо-востоке, в умеренные зимы от 60 до 140 дней, и в суровые от 100 до 170 дней соответственно. Наличие ледяного покрова в море оказывает существенное влияние на характер и интенсивность гидрологических процессов. Являясь серьезным естественным препятствием, каспийский лед очень затрудняет выполнение исследовательских работ по изучению особенностей зимних гидрологических процессов. В связи с этим, в настоящее время гидрологические процессы в Северном Каспии в зимний период изучены значительно слабее аналогичных процессов в навигационный период. Существует парадоксальная ситуация: среднегодовые значения многих элементов гидрологического режима Северного Каспия (волнения, течений, солености и др.) подсчитываются только за навигационный период, т.е. с апреля по октябрь-ноябрь. Четыре-пять зимних месяцев просто выпадают из расчетов из-за отсутствия данных, хотя именно в этот период происходят значительные изменения их характеристик. Кроме того, и сам лед под воздействием ветра, течений, волнения и колебаний уровня находится в постоянном и сложном движении. Ледяной покров дрейфует и торосится, взламывается и сплавливается. Помимо чисто научного интереса исследования гидрологических процессов в Северном Каспии в зимний период имеют и большое практическое значение. В настоящее время Каспийское море стало зоной взаимных интересов прикаспийских государств - России, Казахстана, Азербайджана, Туркменистана и Ирана. Увеличившийся поток грузоперевозок по морю весьма остро поставил вопрос о необходимости осуществления круглогодичной навигации на участке Астрахань - Северный Каспий. Ведется интенсивная разведка и освоение нефтегазовых месторождений, теперь уже не только на побережье, но и акватории Северного Каспия. Осуществление этих, и многих других важных и потенциально экологически опасных проектов станет невозможным без своевременного обеспечения организаций, планирующих эту деятельность надежной гидрометеорологической информацией, в том числе и в зимний (ледовый) период. В настоящее время у нефтегазодобывающих организаций есть возможность получать прогнозы колебаний уровня моря, опасных гидрометеорологических процессов и явлений и, что весьма важно, специализированных ледовых прогнозов.

³ Гидрометеорологическое обеспечение поисковых работ на шельфе Северного Каспия в зимний период // П.И. Бухарин П. И., Б. Ю. Болдырев, Ю.В. Дозорцева // ББК 95:2. Г35. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Научно-технический журнал Геология, география и глобальная энергия №3(34), 2009. Издательский дом «Астраханский университет», 2009. – С.90-92.

Гидрометеорологическая служба Каспийской Флотилии имеет современное оборудование и высокопрофессиональные кадры. На протяжении ряда лет для составления прогнозов используется геоинформационная система (ГИС) как для получения, так и анализа и обработки метеорологических данных и данных о состоянии ледяного покрова с искусственных спутников Земли (ИСЗ).

Материалы ИСЗ успешно применяются при составлении ежедневных карт фактической ледовой обстановки и прогнозировании ледовой обстановки на ближайшее будущее.

Например, несмотря на то, что в 2003 году, зима по своим условиям была умеренной, тем не менее, возникла реальная опасность для СПБУ «Астра». Кромка дрейфующих льдов в феврале месяце приблизилась на расстояние 12 миль от буровой платформы (рис. 1). Такое положение стало представлять реальную угрозу для буровой, т.к. в открытом море при усилении ветра часто происходит интенсивный дрейф, подвижки и торошение льда, а буровая платформа «Астра» не имеет соответствующей ледовой защиты. Для снижения риска судно обеспечения Каспийской флотилии находилось в районе расположения СПБУ «Астра» с целью постоянного наблюдения за продвижением кромки дрейфующих льдов.

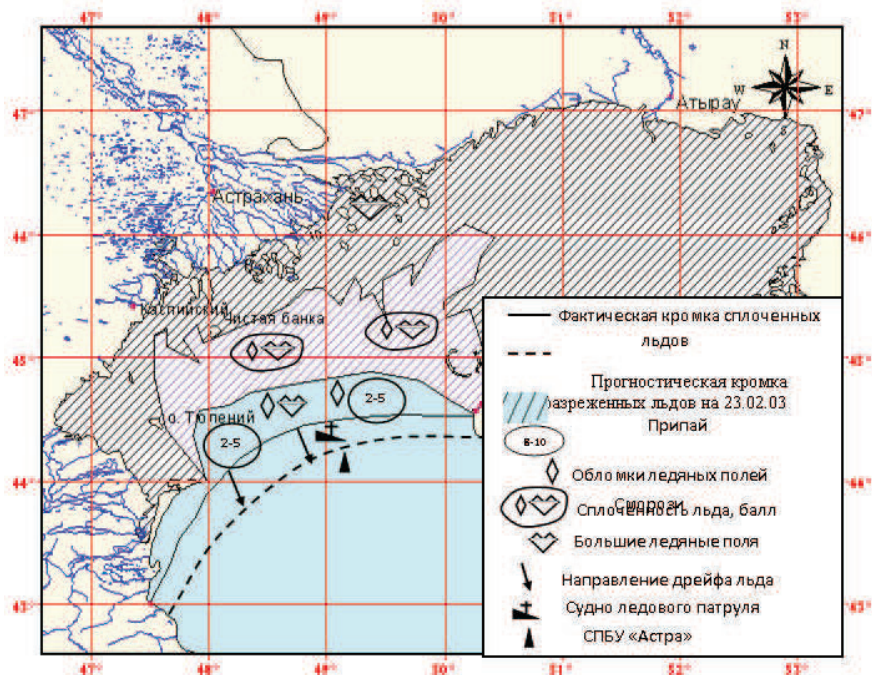


Рис. 1. Ледовая обстановка на Северном Каспии по данным ИСЗ.

Кроме того, Гидрометеорологической службой Каспийской Флотилии регулярно предоставлялась информация о фактическом положении кромок неподвижного и дрейфующего льда, полученных на основе анализа спутниковых снимков.

Материалы представлялись потребителям гидрометеорологической информации в виде специализированного гидрометеорологического бюллетеня, в котором кроме оперативной информации помещались ледовые прогнозы по районам Северного Каспия, низовьев Волги и Волго-Каспийского канала. На протяжении всего зимнего сезона 2002/03гг. осуществлялась постоянная передача метеорологических прогнозов (суточных, на 3 суток, недельных и месячных).

Однако, проблема современных исследований гидрометеорологического режима в целом и особенностей гидрологических процессов в Северном Каспии в зимний период еще далека от завершения. Для осуществления этих целей в Гидрометеорологическом центре Каспийской Флотилии созданы необходимые условия. Это позволяет вести планомерную работу по совершенствованию методов расчета и прогноза элементов гидрометеорологического режима, представляющих опасность для морских отраслей народного хозяйства.

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В НИЗОВЬЯХ ВОЛГИ И СЕВЕРНОМ КАСПИИ В УМЕРЕННУЮ ЗИМУ 2009-2010 гг.⁴

Акватория морского порта и канала, а также часть Каспийского моря к северу от 44-й параллели ежегодно покрывается неподвижным льдом. Ледообразование обычно начинается во второй половине декабря. Наибольшего развития ледяной покров достигает в конце февраля. В первой половине марта лед разрушается, и во второй половине марта акватория, как правило, полностью очищается. Продолжительность ледового периода колеблется в широких пределах.

Навигация в портах Астрахань и Оля круглогодичная. В 60-х — 70-х годах прошлого столетия в зимний период осуществлялись эпизодические ледокольные проводки судов рыбопромыслового флота силами буксировщиков с ледовым усилением, принадлежащих Астраханскому морскому рыбному порту. В 1978 г. в Астрахань и на Каспийское море



Рис. 1. Морской ледокол финской постройки «Капитан Измайлов».

прибыли несколько мощных ледоколов финской постройки речного класса — «Капитан Чечкин», «Капитан Крутов», «Капитан Букаев» и морского класса — «Капитан Измайлов», «Капитан Раджабов». С этого года интенсивность ледокольных проводок возросла. В 90-х годах увеличился грузопоток на Иран и в порты других прикаспийских государств. С образованием Морской администрации порта Астрахань ледокольные проводки приобрели регулярный характер.

⁴ Ice conditions on the lower Volga and the North-Caspian sea during the moderate winter of 2009-2010 / P.I. Buharitsin // Proceedings of the 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions July 10-14, 2011 Montréal, Canada. Copyright 2011 National Research Council of Canada. All rights reserved.

Караваны формировались из 6-8 судов, которые в течение 1 -2 суток выводились из порта Астрахань в море; столько же судов за это время заводились по каналу в порт. Речные ледоколы арендовались морской администрацией у ОАО «Волготанкер».

В 1998 г. ледоколы «Капитан Чечкин» и «Капитан Букаев» были переданы на баланс ГУ «Морская администрация порта Астрахань», «Капитан Крутов» передан в один из портов Черноморского бассейна. С учетом возросшего судопотока и прихода в Каспийское море дополнительного флота возникла необходимость усиления ледокольного обеспечения. В течение еще двух лет в помощь оставшимся двум ледоколам привлекался ледокол «Капитан Чадаев», арендованный у ОАО «СК «Волжское пароходство». В 2001 г. он был передан в Архангельск. Подготовка к зимней навигации 2009-2010 гг. началась задолго до наступления устойчивых минусовых температур воздуха и образования ледостава в акватории порта Астрахань, Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК) и Астраханского рейда.

В сентябре-ноябре 2009 г. ФГУ «АМП Астрахань» получило сведения от судовладельческих компаний о количестве судов, планируемых для работы в Каспийском бассейне с заходом в ВКМСК и порты Астрахань и Оля в предстоящую зимнюю навигацию.

Было заявлено 123 судна от 23 судоходных компаний, что более чем на 50% превышало количество судов и компаний, заявленных на зимнюю навигацию 2008-2009 гг., и в четыре раза — количество судов, заявленных в зимнюю навигацию 2007-2008 гг. Часть судовладельцев не предоставили сведения своевременно, ссылаясь на то, что они еще не знают, какие суда останутся на бассейне, а какие будут работать в южной и средней частях Каспийского моря без заходов в порты Астрахань и Оля. Основная масса судов имела в символе класса знак категории ледового усиления, позволяющий им осуществлять плавание как за ледоколом, так и самостоятельно (при определенной сплоченности и толщине льда). Большая часть судов (53) имели возраст от 20 до 30 лет, а 39 судов — более 30 лет (некоторые из них прошли процедуру обновления по корпусу под наблюдением классификационных обществ).

Согласно предоставленным службой навигационно-гидрографического обеспечения Астраханского филиала ФГУП «Росморпорт» результатам промеров глубин лимитирующих участков ВКМСК для судов сохранялась осадка 4,5 м. В морской части канала (от 138-го до 170-го км) были выставлены светящие ледовые буи-сигары. Запрошены и получены соответствующие метеопрогнозы на предстоящий осенне-зимний период.

К обеспечению ледокольных проводок судов были подготовлены два линейных ледокола Астраханского филиала ФГУП «Росморпорт» — «Капитан Букаев» и «Капитан Чечкин», имеющие класс М-СП Российского речного регистра. Указанные ледоколы могут работать в сплошном льду толщиной до 70 см и рыхлом льду толщиной до 1 м.

30 ноября 2009 г. капитан морского порта Астрахань издал приказ № 149 «О зимней навигации 2009-2010 гг. на акватории порта Астрахань, ВКМСК и Астраханском рейде», объявляющий начало зимней навигации 2009-2010 гг. с 1 декабря 2009 г., а также определяющий мероприятия по организации и руководству ледокольными проводками, включая создание штаба ледокольных операций.



Рис. 2. Речной линейный ледокол финской постройки «Капитан Букаев».

Руководителем штаба ледокольных операций назначен капитан морского порта Астрахань М.А. Абдулатипов. В состав штаба были включены представители администрации Астраханской области, государственных контрольных органов, Ассоциации экспедиторов и судовладельцев Астраханской области, персонал ФГУ «АМП

Астрахань» и АФ ФГУП «Росморпорт», непосредственно обеспечивающий работу ледоколов, а также капитаны ледоколов «Капитан Букаев» и «Капитан Чечкин».

Основной задачей штаба являлось обеспечение эффективной безаварийной эксплуатационной деятельности судов, исключая простои при работе в ледовых условиях. Кроме того, перед штабом стояли следующие задачи:

- сбор и обобщение данных по гидрометеорологической обстановке в порту Астрахань, на Волго-Каспийском морском судоходном канале, астраханском рейде, подготовка предложений по организации работы судов в этих условиях; формирование караванов судов для их проводки в ледовых условиях по заявкам капитанов судов, поступившим через агентирующие фирмы;
- координация совместной деятельности с пограничным управлением ФСБ по Республике Калмыкия и Астраханской области, Астраханской таможней, АФ ФГУП «Росморпорт» и другими ведомствами по оформлению в установленном порядке выхода судов в ледовом караване; предоставление судовладельцам и их агентам информации, касающейся условий организации ледовых проводок;
- предоставление сведений и объявлений по зимней навигации через средства массовой информации, а также на сайте ФГУ «АМП Астрахань»; обеспечение рационального распределения ледоколов;
- сокращение времени непроизводительных простоев, связанных с высадкой (посадкой) лоцманов, формированием караванов, подготовкой судов к выходу из порта, проведением швартовых операций и т.п.

Основными принципами работы штаба являлись:

- равнодоступность ледокольного флота;
- равнозначность портов без определения приоритета;
- открытость и информативность процесса ледокольного обеспечения;
- очередность проводки судов в соответствии с пунктом 31 Общих правил плавания и стоянки судов в морских портах Российской Федерации и на подходах к ним.

При отсутствии судов, имеющих право первоочередности, при формировании каравана учитывалось время подхода судна к кромке льда. Также в приказе был определен порядок введения ограничений для судов по режиму ледового плавания.

7 декабря 2009 г. при ФГУ «АМП Астрахань» было проведено совместное совещание с представителями Аф ФГУП «Росморпорт» по вопросам обеспечения безопасности плавания на акватории порта в период зимней навигации, определен порядок ледокольных проводок, режим работы ледоколов,



Рис. 3. Караван судов в Волго-Каспийском морском сухоходном канале.

количественный состав судов в составе каравана, места бункеровки. 11 декабря 2009 г. состоялось расширенное совещание по вопросам зимней навигации под председательством капитана морского порта Астрахань. В нем приняли участие представитель администрации Астраханской области, представители ФГУ «АМП Астрахань», Аф ФГУП «Росмор-порт», государственных контрольных органов, судовладельцев и стивидорных компаний. С образованием ледяного покрова на акватории порта Астрахань, ВКМСК и Астраханского рейда распоряжением капитана морского порта Астрахань от 23 декабря 2009 г. № 72-р с 00 час 24 декабря 2009 г. введена обязательная ледокольная проводка. Судам, не имеющим знака ледового усиления в символе класса судна, было запрещено плавание по указанным акваториям, в том числе и в составе караванов.

Тем же распоряжением с 25 декабря 2009 г. был введен запрет на включение в ледовые караваны судов, возраст которых превышает 30 лет, за исключением тех, что прошли процедуру обновления корпуса под наблюдением Российского морского регистра судоходства или других классификационных обществ, являющихся членами МАКО.

О предстоящем введении возрастных и иных ограничений для судов в период зимней навигации судовладельцы были предупреждены заблаговременно в сентябре и ноябре 2009 г. циркулярными письмами, в которых предлагалось спланировать работу судов, потенциально подпадающих под ограничения, за пределами кромки льда. В работу по проводке судов включились два линейных ледокола — «Капитан Букаев» и «Капитан Чечкин». Диспетчерским и инспекторским составом отдела организации и управления судами осуществлялись сбор информации и подготовка ежесуточного плана ледовых операций.

18 января 2010 г. от гидрометеоцентра Каспийской флотилии поступило штормовое предупреждение об ожидаемом усилении ледовых процессов, интенсивном дрейфе льда и его наслоении в связи с вторжением арктического воздуха с северо-запада и усилением восточного, юго-восточного ветра. В ВКМСК ожидалось интенсивное торошение и наслоение льда, его опускание под собственной тяжестью на дно и образование стамух. По северо-западной части Северного Каспия ожидалось повышение уровня воды при штормовом нагоне на 1-1,5 м. Не ослабевающие процессы льдообразования и сохранение

отрицательных температур воздуха, а также штормовое предупреждение послужили основанием для проведения 19 января экстренного рабочего совещания штаба ледокольных операций по выработке мероприятий, обеспечивающих безопасное осуществление ледокольных проводок в связи с наступлением тяжелых ледовых условий. По результатам совещания было принято решение о направлении судов, которые будут скапливаться на Астраханском рейде, для пополнения запасов и ожидания улучшения ледовой обстановки в другие порты Каспийского моря. Об этом решении были проинформированы судовладельцы и капитаны судов, дан соответствующий ПРИП.

В это время в открытой части ВКМСК от Большого до Малого поворота (второе колено ВКМСК: 151-й — 170-й км), в связи с устойчивыми ветрами восточных направлений силой 12-18 м/с и более, сохраняющимися в течение пяти суток, и морозами в ночное время, шел процесс усиления льдообразования. В пределах судоходной части ВКМСК наблюдалось

Рис. 4. В январе 2010 г в морской части канала образовалась огромная стамуха высотой около 8м, почти полностью перекрыв судовую ход.



сильное сжатие, торшение и наслоение, ближе к

Малому повороту — сильная подвижка льда. В этих условиях движение за ледоколом более одного судна оказалось невозможным. Суда с маломощными силовыми установками и в балласте приходилось проводить только на буксире за ледоколом, во избежание выдавливания льдом судов на бровку канала и возможного повреждения корпусов. Ледоколы работали на 100% мощности. Некоторые участки им приходилось преодолевать «набегами». Вторым сложным участком, где прохождение судов иначе как на буксире за ледоколом было невозможно, являлась закрытая часть канала в районе острова Искусственный (от 100-го до 135-го км ВКМСК) со льдом 10 баллов заторного характера. Конфигурация дна канала в этом районе способствовала значительному скоплению и наслоению льда, что сделало участок труднопроходимым даже для одиночного ледокола. Каждая проводка занимала 3 часа и более. Несмотря на круглосуточную работу ледоколов, они не успевали обрабатывать все суда даже в этих районах, не говоря уже о проводке караванов далее по каналу в Астрахань и из Астрахани. Наиболее тяжелая ледовая обстановка складывалась в период с середины последней декады января по середину первой декады марта 2010 г. Кромка льда доходила до 44°18' СШ.

Роза ветров в зиму 2009/2010гг преобладала в основном восточных румбов, что крайне негативно повлияло на навигационную обстановку в целом. Почти непрерывно, не меняя направления, эти ветры воздействовали во второй половине января и первой трети февраля 2010года, нагоняли в морскую часть

ВКСМК дрейфующий лёд, который, сплываясь, набивался в зону судового хода, торосился, образуя на западной «красной» бровке ВКСМК стамухи, частично перекрывающие судовый ход. Плавающий лёд, перемещаясь вдоль судового хода канала, «задавливал» «сигары» (зимние плавучие буи) под лёд, а 3-ю и 5-ю «сигары» унесло льдом, чем существенно осложнилась навигационная обстановка, лишив судоводителей ориентиров. В районе 7-й «сигары» (164км ВКСМК) в январе 2010 года образовалась огромная стамуха высотой около 8м, почти полностью перекрыв судовый ход канала, оставив лишь около 20 метров свободного пространства. В это же время стамуха меньших размеров образовалась в районе между 5-й и 7-й «сигарами». Имеющиеся в наличии 2 линейных ледокола «Капитан Букаев» и «Капитан Чечкин» были не в состоянии разбить эту и подобные ей по размерам стамухи, у ледоколов не хватало мощности двигателей. Приходилось суда с риском посадки на мель и поломки винто-рулевого комплекса проводить близко к «бровке» и даже частично за «бровкой» канала.



Рис.5. Мощная стамуха в канале.

К счастью, посадок на мели удалось избежать. Особенно много работы было с крупными судами. В таких случаях оба ледокола занимались проводкой только одного такого судна, отвлекаясь от проводки других судов. В ожидании ледовой проводки в зоне канала скапливалось свыше 100 судов на срок до 3

недель. Количество судов в караванах доходило почти до 40. Средняя скорость ледовой проводки составляла 5 узлов. К счастью, за всё время ледовых проводок ледоколы ни разу не имели серьёзных технических аварий, лишь иногда возникала угроза намотки на гребной винт лопнувшего буксирного троса.

Подобная ситуация была во время зимней навигации 2002-2003 г., когда ледокольные проводки начались 10 декабря и закончились 13 марта. К началу февраля 2010 г. в результате резкого ухудшения метеоусловий (штормовой ветер восточных направлений более 20 м/с с последующим переходом на западные направления, падение температуры ниже -20°C в ночное время) ледовая обстановка крайне осложнилась. Ситуация характеризовалась интенсивным льдообразованием, подвижкой ледяных полей, изменением структуры льда, приобретающего большую жесткость. Эти факторы вызвали значительные трудности при осуществлении ледокольных проводок. На входе и выходе начали скапливаться суда, ожидающие ледокольной проводки. В отдельные дни ледоколы вообще не могли работать в открытой части ВКСМК по метеоусловиям. В этот период они занимались проводкой судов на буксире через труднопроходимый участок в районе острова Искусственный. Число судов, ожидающих на Астраханском рейде ледокольную проводку в порты Астрахань и

Оля, доходило до 50. Примерно столько же судов ждали проводки в портах Астрахань и Оля и в ВКМСК до 100-го км (выше перемычки у острова Искусственный) и между 135-м и 145-м км (ниже перемычки).

Капитан порта находился непосредственно на одном из ледоколов и лично руководил ледокольными операциями на Астраханском рейде. Впоследствии на ледоколах постоянно находились и осуществляли координацию их деятельности представители штаба ледокольных операций. В связи с осложнением обстановки штаб ледокольных операций стал собираться на рабочие совещания ежедневно в 09.00 и в 16.00. На совещаниях заслушивались информация от ледоколов и капитанов судов, ожидающих проводки, прогнозы погоды, осуществлялась прямая связь с капитанами ледоколов и представителями штаба, находившимися на ледоколах, анализировалась сложившаяся ситуация, выработывались решения по оптимальному использованию ледоколов и недопущению аварийных случаев. Во избежание возникновения критических ситуаций, вызванных, среди прочего, нехваткой топлива и других судовых запасов на борту, штабом ледокольных операций было вновь настоятельно рекомендовано капитанам судов следовать, а судовладельцам (агентирующим организациям) направлять суда для пополнения запасов и ожидания улучшения ледовой обстановки в другие порты Каспийского моря.

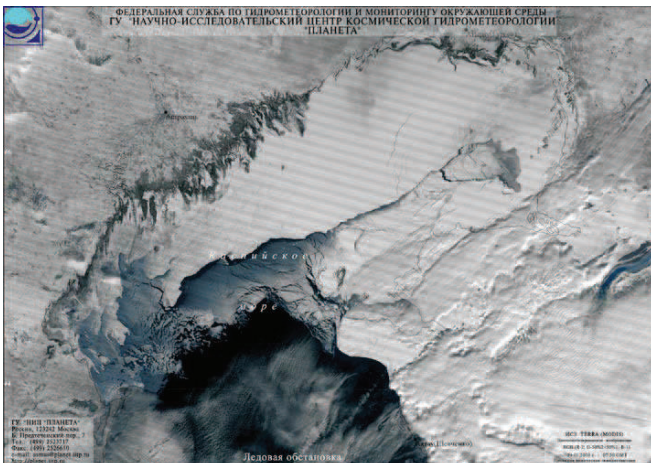


Рис. 6. Ледовая обстановка в период максимального развития по данным ИСЗ.

Часть капитанов воспользовались такой возможностью, однако основная масса судов продолжала стоять на Астраханском рейде, рискуя остаться без продуктов и

топлива. При этом в адрес капитана порта Астрахань ежедневно шли панические радиogramмы с требованием незамедлительно включить судно в караван для ледокольной проводки. Судовладельцы, которые направили свои суда для пополнения запасов в другие порты Каспийского моря, были благодарны штабу ледокольных операций за своевременно данные им рекомендации.

В начале марта с повышением температур льдообразование прекратилось, сила ветра стала умеренной, появилась возможность беспрепятственно выводить и заводить караваны судов. Распоряжением капитана морского порта Астрахань от 16.03.2010 г. № 9-р с 18 марта отменены ледокольная проводка судов и действие всех предыдущих распоряжений, связанных с зимней навигацией. Было разрешено самостоятельное плавание судов (без ледокольного обеспечения) в акватории порта Астрахань, ВКМСК и Астраханского рейда. При этом ледоколы находились в постоянной готовности по оказанию при необходимости помощи

судам: один в порту Астрахань, а другой в районе 150-го км ВКМСК, где, как правило, в весенний период бывает дрейфующий лед.

Приказом капитана морского порта Астрахань от 22 марта 2010 г. №41 отменено действие приказа от 30 ноября 2009 г. № 149, и с 00 час 23.03.2010 г. зимняя навигация считается законченной.

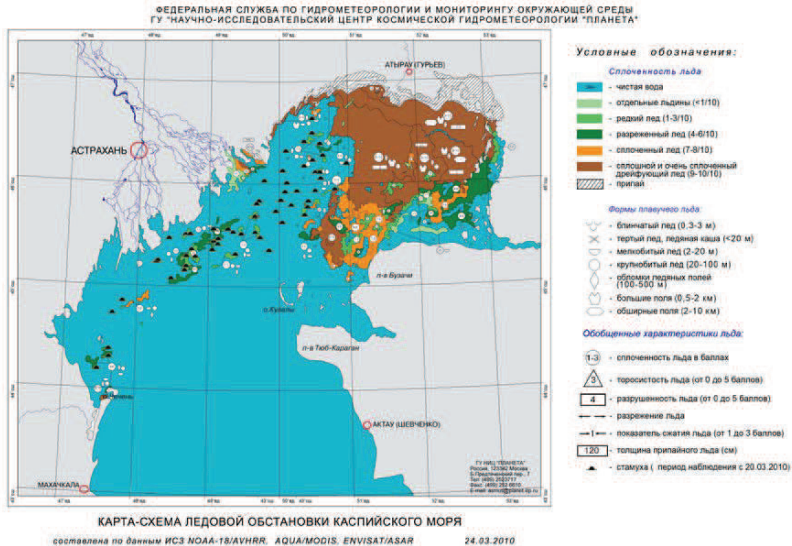


Рис. 7. В результате сильных и продолжительных ветров на всей мелководной акватории Северного Каспия образовалось необычно много мощных стамух, которые сохранялись некоторое время среди чистой воды даже после весеннего разрушения ледяного покрова.

С 24 декабря 2009г. по 17 марта 2010 г. ледоколами выполнены 32 ледокольные проводки и проведены 542 судна, что на 10% больше, чем в предыдущую зимнюю навигацию. Количество проведенных судов могло быть значительно больше при наличии еще одного или двух линейных ледоколов. * Максимальная длина ледокольной проводки равнялась 140 милям. Максимальное время ожидания ледокольной проводки составило до 19 сут. на выход из порта и до 40 сут. на вход в порт.

Всего в Каспийском бассейне с заходом в ВКМСК и порты Астрахань и Оля в зимнюю навигацию работали 149 транспортных судов. Перевезено 1 090,3 тыс. т грузов. За период зимней навигации зафиксировано 7 инцидентов с судами. В основном это потери якорей с якорными цепями в период ожидания ледокольной проводки на Астраханском рейде (4 случая). В двух случаях впоследствии якоря были найдены командами самих судов и установлены на штатные места. Имели место также посадка на грунт т/х «Улус Стар», повреждение корпуса т/х «Лангелас» и столкновение т/х «Линда» с т/х «Сейл Дьюк» вследствие несоблюдения дистанции между судами при следовании в караване. Максимальная толщина льда в открытой (морской) части ВКМСК достигала 50 см, в отдельных местах до 1 м, в торосах — до 1,5м. Наблюдались стамухи высотой до 8 м. В закрытой (береговой) части канала толщина льда достигала 25-30 см, в

наслоениях — до 50-80 см. Вся необходимая информация для плавания судов во льдах своевременно доводилась до сведения судоводителей и судовладельцев.

К сожалению, в порту Астрахань имеются и нерешенные вопросы, напрямую касающиеся обеспечения ледовых проводок и работы портовых терминалов. Это, в первую очередь, относится к ледокольному обеспечению. Имеющиеся два ледокола не справляются с увеличившимся количеством судов, участвующих в ледовой компании. Данная проблема неоднократно поднималась на различных уровнях, но по окончании зимней навигации о ней каждый раз забывают и вспоминают только тогда, когда суда уже стоят в огромных очередях в ожидании ледокольной проводки. Необходимо также решить вопросы с портовыми ледоколами, которые могли бы оказывать судам те или иные услуги, в том числе по перестановке у причалов и на рейдах, обеспечивать безопасность плавания непосредственно в порту. В этом случае можно предусмотреть и возможность их работы на участке Астрахань — Оля с оказанием (при необходимости) услуг по поддержанию в надлежащем состоянии ледовых майн для трех паромных переправ, находящихся на этом участке.

Кроме того, нужно продолжить работу по развитию СУДС с целью обеспечения возможности контроля судов, находящихся на Астраханском морском рейде; оснастить ледоколы средствами контроля их местоположения (СМС «Виктория») и предоставить доступ к этим средствам капитану морского порта; проработать вопрос оснащения ледоколов современными навигационными комплексами, удовлетворяющими требованиям международных конвенций в области безопасности мореплавания.

ИЗУЧЕНИЕ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ПРОВЕДЕНИЯ ФОНОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УЧАСТКЕ ЖАМБАЙ ЮЖНЫЙ – ЮЖНОЕ ЗАБУРУНЬЕ ⁵

Каспийское море относится к морям с сезонным ледяным покровом и отличается большим разнообразием ледовых процессов. Являясь серьезным естественным препятствием в осуществлении хозяйственной деятельности человека на море (рыбном и тюленьем промыслах, судоходстве, а в последние годы и при поисковых нефтеразведочных работах на шельфе Северного Каспия) ледяной покров значительно ограничивает их деятельность, создает реальную угрозу их безопасности. В связи с этим изучение ледовых процессов в море представляет не только научный, но и практический интерес. Проводимые в последнее время Россией и Казахстаном в мелководной северной части Каспийского моря (в том числе и в зимний период) поисковые работы побуждают ученых к международному сотрудничеству в изучении современных зимних гидрологических и ледовых процессов в Северном Каспии. Необходимость и актуальность ледовых исследований заключается еще и в том, что характер и интенсивность ледовых процессов в море существенно изменились в связи с произошедшим в течение последних 30 лет (с 1978г) повышением уровня моря более чем на 2 метра. В данной работе использованы материалы экспедиционных исследований выполненных в период с декабря 2007г по март 2008г во время производства работ по изучению ледового режима Каспия в рамках программы проведения фоновых экологических исследований на участке Жамбай Южный – Южное Забурунье.

Общие сведения о ледовом режиме. В холодную часть года восточная часть Северного Каспия находится под преобладающим воздействием отрога сибирского антициклона, поэтому атмосферное давление здесь выше, чем над западной частью, что приводит к большой повторяемости ветров восточных румбов. К востоку от Северного Каспия расположены быстро охлаждающиеся осенью полупустыни и степи Казахстана, где зимой отмечаются ранние и сильные морозы. Поэтому восточное побережье Северного Каспия – самый холодный район на всем Каспийском море. Здесь же наиболее холодным является северный участок восточного побережья в районе устья р. Эмбы. В умеренные зимы первое появление льда, в виде сала, шуги или склянки (т.е. первичных видов), отмечается на прибрежном мелководье в начале ноября в районе Жилой косы, а к середине ноября и в районе мыса Бурунчук во время ночных похолоданий. Первое появление льда здесь, как правило, неустойчивое – в дневные часы лед тает. Устойчивое замерзание наступает в среднем через 7 дней. Образуется припай. В конце ноября граница припая проходит по изобате 2 метра в 3 – 8 милях от берега. В декабре – феврале практически вся восточная часть Северного Каспия покрывается припаем. В аномально суровые зимы лед появляется в октябре. Так, 31 октября 1960г. граница припая, по данным ледовой авиаразведки, проходила по метровым глубинам.

⁵ Investigation of the ice regime of the eastern part of the Caspian within background ecological investigation program at yuzhny jambay- yuzhny Zaburunje / E. Ayazbaev, P.I. Buharitsyn // Proceedings of the 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions July 10-14, 2011 Montréal, Canada. Copyright 2011 National Research Council of Canada. All rights reserved.

В аномально мягкие зимы первое появление льда отмечается лишь в декабре. Например, 11 декабря 1939г. первый лед отмечался в юго-восточной части побережья, между мысом Бурунчук и Балашовскими шалыгами [1]

Необходимо отметить, что в среднем каждую вторую зиму (т.е. в 50 % случаев) после первого появления льда, и даже после полного замерзания, лед может полностью исчезать, а затем появляться вновь. В отдельные зимы таких полных замерзаний и очищений ото льда может быть два и даже три.

Господствующие восточные ветры приносят с Казахстанских степей большое количество песка и пыли, что существенно влияет на альбедо льда и способствует быстрому весеннему разрушению прибрежного припая.

Под воздействием сильных ветров в припае возникают зоны сжатия и разряжения, что приводит к интенсивным подвижкам, образованию трещин, полыней и торосов. С началом весеннего таяния льда эти процессы усиливаются.

В прибрежной зоне моря с глубинами от 0 до 40 см вода часто промерзает до дна, и лед может лежать на грунте на расстоянии до 10 км от берега.

Весеннее разрушение припая начинается с появления талой воды на льду и водяных заберегов, затем образуется сквозной водяной заберег или обширная прибрежная полынья шириной 10 – 20 км.

В умеренные зимы весеннее разрушение припая происходит в марте, окончательное очищение ото льда – в конце марта – начале апреля.

В аномально суровые зимы окончательное очищение ото льда затягивается до второй половины апреля.

В мягкие зимы уже в конце февраля площадь ледяного покрова незначительна.

Так, 18 февраля 1946г. припай был отмечен только на северо-востоке, в районе устья р. Эмбы, а кромка плавающего льда простиралась от Балашовских шалыг на северо – запад, к острову Бороздинному.

В марте в мягкие зимы на востоке Северного Каспия льда практически нет.

Среднее число дней со льдом на севере рассматриваемого района равно 150, на юге – 125, в мягкие - соответственно 130 и 110, в суровые 170 и 140.

Максимальной толщины припай достигает в конце февраля – начале марта. Она колеблется от 48 до 96 см у Жилой косы и от 24 до 65 см у мыса Бурунчук.

Максимальная толщина льда на Жилкосинском рейде – 90см была отмечена 8 марта 1930г. Это самая большая толщина льда естественного (термического) нарастания зарегистрированная наблюдениями на Каспийском море. Толщина льда 96 см отмечена не в море, а в бывшем заливе, отдельном от моря.

В период разрушения припай превращается в дрейфующий лед. Под действием восточного ветра он может дрейфовать к западу, в результате на крайнем востоке Северного Каспия образуются большие пространства чистой воды, в то время, как на Гурьевской бороздине льда еще много, он занимает большие площади и достаточно прочен. При нагонных западных ветрах лед начинает дрейфовать в сторону восточного побережья, тороситься и нагромождаться на мелководья в виде стамух. Повышение уровня при нагонах способствует наполнению ледяных полей на берег и проникновению льдин на несколько километров вглубь побережья.

При сильном ветре (7–8 баллов) скорость дрейфа сплоченных льдов достигает 0,5м/с. Скорость дрейфа разреженных льдов уже при ветре силой 4–5 баллов может достигать 1м/с.

Сплошного снежного покрова на льду, как правило, не образуется. Снег скапливается в виде снежных застругов и пятен слоем до 10см. С подветренных

сторон торосов и гряд торосов образуются сугробы с толщиной слоя снега 40 – 50см.

Динамические процессы в ледяном покрове. В результате неравномерного дрейфа отдельных ледяных образований происходят разломы и столкновения льдин, приводящие к деформации ледяного покрова. Деформация льда проявляется в образовании наслоений, подсонов и торосов, что приводит к существенному увеличению толщины ледяного покрова. Визуальная оценка степени торосистости ледяного покрова, учитывая различный возрастной состав льда, разновременность возникновения торосистых образований и большое разнообразие форм торосов представляет весьма сложную задачу. Вместе с тем этот элемент наблюдений является одним из самых важных при оценке состояния припая и сплоченных плавучих льдов. Гряды мощных торосов, в которых составляющие их глыбы льда смерзлись в единый монолит, имеют осадку в 4-7 раз превышающую надводную высоту и часто бывают непреодолимым препятствием для плавания не только транспортных судов, но и ледоколов. Торосящиеся льды обладают огромной разрушительной силой, и представляют не только для судов, но и для всевозможных гидротехнических сооружений, эстакад, платформ и т.д. весьма серьезную опасность.

Припай, особенно у кромки, чаще всего характеризуется грядовой торосистостью. Плавучие льды в процессе дрейфа, как правило, подвергаются многократному торошению, в результате чего торосистость приобретает беспорядочный характер, когда отдельные нагромождения и ропаки сочетаются с грядами торосов, расположенными в разных направлениях.

В условиях мелководного Северного Каспия дрейфующие торосистые льды часто садятся на мель, чему способствуют сгонно-нагонные колебания уровня моря, характерные для этой части акватории, в результате чего образуются торосистые ледяные образования, сидящие на мели – стамухи [2,4].

Активизация деятельности нефтяных компаний России, Казахстана с зарубежными партнерами, по разведке углеводородного сырья на шельфе Северного Каспия, потребовала серьезного научного, экологического и технического обеспечения этих работ. Результаты совместных ледовых исследований нашли свое конкретное практическое применение. Так, в 1999 году в Астрахани, для нужд казахской компании ОКИОК (Оффшор Казахстан Интернешил Оперейтинг Компани), осуществлена реконструкция типовой погружной буровой баржи, которая была специально адаптирована для работы в уникальных природных и геологических условиях Северо-Восточного Каспия. Подводное основание и борта баржи были модифицированы таким образом, чтобы противостоять ледовым нагрузкам, которые изучались и анализировались на протяжении пяти лет. Проводилось компьютерное моделирование. В результате площадь баржи была увеличена вдвое, добавлены специальные ледовые отражатели с обеих сторон баржи. Отражатели были смоделированы с целью сдерживания давления льда. На месте постановки баржи в море, с обеих сторон от баржи предусмотрена установка системы мощных металлических свай (глубина заглупления в морское дно до 20 метров), назначение которых – сдерживание натиска дрейфующих льдов и активизация процессов торосообразования на дальних подступах от буровой платформы. В результате вокруг платформы образуются искусственные стамухи, которые сами служат для платформы надежной защитой от движущихся льдов.

Прогноз направления движения льдов под воздействием ветра и течений имеет огромное значение, поскольку недоучет этих факторов может привести к

катастрофическому положению. Так, в качестве примера приведем ситуацию, возникшую в декабре 2007 года в районе структуры «Кашаган». Ситуация достигла критической 16 января, когда в результате штормового ветра и интенсивных подвижек льда был полностью блокирован битым льдом толщиной до 1,5м подходной канал. При этом суда оказались парализованными на несколько недель, что привело к вынужденной эвакуации всего персонала.

Ледовые условия в холодный период 2007/2008гг. По условиям суровости зима 2007-2008гг. (прогноз, составленный 10 октября 2007г. ледовая обстановка на Нижней Волге и Северном Каспии в целом ожидалась близкой к средним многолетним значениям – “умеренная зима” (таблица 1).

Таблица 1.

Типизация зим на Северном Каспии по степени их суровости (сумме градусо-дней мороза, $\sum -t_{\text{ср.сут.}}^{\circ}\text{С}$ по п. Астрахань) [3].

Очень суровая зима	Суровая зима	Умеренная зима	Мягкая зима	Очень мягкая зима
Более 900° С	900-700° С	700-400° С	400-100° С	100° С и менее

Сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха по порту Астрахань за зиму составила -544,9°, что соответствует критерию “умеренная” зима; по Пешному и Жамбаю (Республика Казахстан) -922,1° и -841 соответственно, что соответствует критерию “очень суровая” зима (таблица 2).

Таблица 2.

Сумма градусо-дней мороза за зиму 2007-2008гг. по пунктам Северного Каспия.

Пункты	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха (градусо-дней мороза) за зиму
Астрахань	с 07.11 -28,7	-100,3	-274,9	-141,0 по 22.02	--	-544,9
Пешной	с 07.11 -62,3	-209	-422,2	-228,6 по 23.02	--	-922,1
Жамбай	-51	-190	-400	-200	--	-841

На мелководьях северо-восточной части Северного Каспия появление первичных форм льда в виде ниласа (толщиной 5-10см) произошло 23 ноября.

По данным ИСЗ, на востоке моря 13 декабря кромка льда проходила по 52 меридиану (району работ), далее поворачивала на запад вдоль северного побережья до 50 меридиана, на глубинах до 1,0-2,0м образовался припай. Кромка льда к 17.12 продвинулась на запад, юго-запад до 5-ти метровых глубин, припай установился и вдоль северного побережья до 50 меридиана на глубине 1-2м.

К 18.12 ледовые процессы усилились, и кромка льда продвинулась на запад до 49 меридиана, при этом в районе 21050 льда не наблюдалось. К концу месяца вся северо-восточная часть Северного Каспия была полностью покрыта припаем (в районе 21050 был в виде сморозей из дрейфующих льдов), кромка льда продвинулась от Мангышлакского залива вдоль 45 параллели до западного побережья (банка Песчаная).

В начале января произошло усиление морозов (по п. Астрахань минимальная температура 04.01 до 23,0°С, по п. Атырау со 02.01 до 13.01 держались

минимальные ночные температуры ниже 20,0° мороза, минимум был отмечен 12.01 –27,5°С).

Граница припая 9 января проходила по 5-ти метровой изобате, район работ был полностью покрыт неподвижным льдом. Кромка льда проходила в 22 милях южнее местоположения «Астраханского приемного плавамяка», вдоль западного берега моря по 10-ти метровой изобате до района п. Избербаш. Граница дрейфующих льдов проходила по 20-ти метровой изобате.

Толщина льда в первой декаде января 2008г. составила: в северо-восточной части 45-55 см, в северо-западной 25-45 см. Максимальной за сезон толщины ровный ненаслоенный лед достиг во второй декаде января и составил: на северо-западе моря 55 см, на северо-востоке 60 см (таблица 4).

В зимний период 2007-2008гг. наиболее низкие температуры отмечались с 05.01 по 28.01 и с 01.02 по 22.02 вдоль всех побережий Каспийского моря. Низкие температуры вдоль восточного побережья держались до 28.01 и повторно в феврале до 21.02

На северо-востоке Северного Каспия и в районе работ 1 февраля вследствие сильных северо-западных ветров произошел взлом припая и вынос дрейфующих серо-белых льдов в глубоководную часть моря, в районе работ на льду появились трещины.

Лишь в конце февраля на Северном Каспии началось термическое разрушение льда.

06.03. в районе работ сохранился припай на 1-2х метровой глубине, на Гурьевской Бороздине наблюдались дрейфующие льды серо-белого льда, в виде обломков ледяных полей и малые ледяные поля, а также крупно- и мелкобитый лед различной сплоченности, разрушенность льда составила 1 балл.

Граница этих дрейфующих полей доходила до 20-ти метровой изобаты. Отдельные дрейфующие поля доходили до банки Средняя Жемчужная.

8 марта очистился ото льда о. Жемчужный, 10 марта – о.Чистая Банка и о.Кулалы, 12 марта – о.Укатный.

К концу марта район работ освободился ото льда, дрейфующий лед сохранялся только в северо-восточной части Северного Каспия, сплоченность дрейфующих льдов составила от 1 до 4 баллов крупно и мелкобитого льда на Гурьевской Бороздине, и от 4 до 8 баллов - на востоке, северо-востоке района 21120. Также наблюдались отдельные стамухи среди чистой воды.

Полное очищение ото льда северо-восточной части Северного Каспия в 2008 году произошло 1 апреля.

Получаемые с ИСЗ фотоснимки позволили строить карты фактического положения кромок льда и надежно оценивать характеристики ледяного покрова (рис. 1 – 3).

Материалы полевых исследований. Согласно Программе проведения фоновых экологических исследований на участке Жамбай Южный и Южное Забурунье зимой 2008 года была проведена ледовая разведка, включающая наблюдения за изменением толщины и плотности дрейфующего и припайного льда (с помощью инструментальных замеров). Кроме этого, изучение ледового режима включало исследования по: морфометрическим характеристикам льда и толщине льда на станциях исследований; средней плотности льда; прочностных характеристик льда и ледового покрова в целом; зависимости движения льдов от ветрового режима и морских волн; изучению механизма образования торосов (сжатие, подвижки, навалы, вынос льда, размеры льдин, оторвавшихся от кромки, скорости их движения).

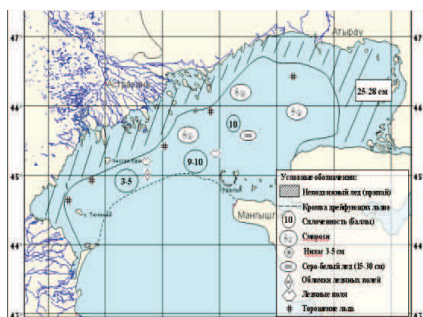


Рис. 1. Ледовая обстановка на 29 декабря 2007 года.



Рис.2. Ледовая обстановка на 30 января 2008г.



Рис.3. Ледовая обстановка на 21 февраля 2008г.

Изучения ледового режима Каспия на данном участке проводилось с помощью вертолета (обзорная ледовая авиаразведка), искусственных спутников земли (использование космоснимков) и наземного транспорта (аэроботов) на станциях, координаты которых приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Координаты точек наблюдения за ледовым режимом

№№ п/п	Тип станции	X	Y
1	Исследования ледового режима	46°20'	49°43'
2	-«-	46°22'30"	49°47'
3	-«-	46°20'30"	49°52'
4	-«-	46°16'45"	49°53'
5	-«-	46°30'	49°56'
6	-«-	46°14'30"	49°52'

Таблица 4.

Толщины льда на структуре «Жамбай», см.

Декабрь 2007г.			Январь 2008г.			Февраль 2008г.			Март 2008г.	
1-я декада	2-я декада	3-я декада	1-я декада	2-я декада	3-я декада	1-я декада	2-я декада	3-я декада	1-я декада	2-я декада
-	-	25	35	45	55	55	60	55	50	40

Результаты лабораторных исследований. Отобранные в ходе проведения ледовой авиаразведки керны льда были исследованы на химический состав воды льдов. Кроме этого, изучались прочностные характеристики проб льда. В таблице 5 приведены данные о химическом составе воды, полученной из кернов льда. Химические анализы проводились в лаборатории ТОО «Мониторинг» (г. Атырау).

Таблица 5.

Результаты химического анализа воды кернов льда на точках исследования ледового режима (в скобках приведены ПДК рыбохозяйственного назначения)

№№ п/п	Наименование параметра	№ станции и её координаты					
		№1 46°20' 49°43'	№2 46°22'30" 49°47'	№3 46°20'30" 49°52'	№4 46°16'45" 49°53'	№5 46°30' 49°56'	№6 46°14'30" 49°52'
1	Аммоний солевой, мг/л (0,5)	0,14	0,12	0,16	0,14	0,15	0,14
2	Нитриты, мг/л (0,08)	0,0148	0,0146	0,0152	0,142	0,144	0,146
3	Нитраты, мг/л (40,0)	0,102	0,108	0,106	0,104	0,104	0,104
4	Хлориды, мг/л	501,5	502,3	503,2	502,4	501,6	501,6
5	Сульфаты, мг/л	118,4	120,4	119,6	118,6	118,8	118,6
6	Гидрокарбонаты, мг/л	77,5	78,0	76,8	77,6	77,8	77,6
7	Жесткость, мг-экв/л	11,05	11,08	11,06	11,04	11,06	11,04
8	Кальций, мг/л (180)	114,8	115,2	114,6	114,5	114,7	114,6
9	Магний, мг/л	64,7	66,8	65,6	64,6	64,8	64,8
10	Сухой остаток, мг/л	1099,5	1100,0	1098,0	1099,6	1099,8	1099,4
11	∑ Na+K, мг/л (390)	172,2	174,0	173,1	172,6	172,4	172,4

Как видно из таблицы, содержание всех ингредиентов ниже установленных ПДК. По величине сухого остатка вода из кернов льда относится к пресной.

pH воды в верхней, средней и нижних частях льда изменялось от 5,21 до 5,29. По принятой классификации по определенному pH, вода относится к слабокислой, что, вероятно, связано с атмосферными выпадениями на поверхность льда.

Прочностные характеристики льда. Физическое состояние ледяного покрова определялось, как правило, слабо отрицательными значениями температуры воздуха, часто переходящими через ноль. Поэтому отрицательная температура минус 1,1...-4,5°C наблюдалась только в поверхностном слое ледяного покрова.

Соленость льда колебалась в пределах от 0,1 до 0,4‰.

Миграция жидкой фазы из поверхностного слоя ледяного покрова заметно влияет на плотность льда, уменьшая ее значения в этом слое до величин 830-850кг/м³. В среднем и нижнем его слоях, где отмечаются ярко выраженная текстурная слоистость, в зависимости от содержания воздушных включений значения плотности льда изменяются в пределах 870-900кг/м³ [5].

Условия формирования льда с частыми прогревами до температуры, близкой к 0°C в значительной мере определяют особенности его текстуры. Увеличение содержания жидкой фазы до максимальных значений с последующей ее миграцией при наступлении оттепелей способствует развитию вторичной пористости. Обилие воздушных пор разнообразных размеров формирует слоистый лед, состоящий из полупрозрачных и непрозрачных слоев с неярко выраженным белесоватым оттенком.

При полном стекании жидкой фазы из поверхностного слоя он становится рыхлым и приобретает молочно-белый цвет. Анализ структуры показывает, что лед образуется из разнотельных изометрических кристаллов размером 2-10мм, характерных для льда типов А6 и Б6 (Морской лед..., 1977).

В период наиболее устойчивого ледообразования происходит вертикальное развитие мелковолокнистых кристаллов вдоль базисной плоскости, в результате чего формируется слой льда типа А4 и Б4.

В таблице 6 приведены данные о средних и экстремальных значениях прочности льда на исследуемой акватории при изгибе (исследовались верхние, средние и нижние слои льда).

Таблица 6.

Сводная таблица средних и экстремальных значений прочности льда при изгибе (сизг.), МПа

Характеристика	По отдельным образцам				Осредненные по слоям			Льдина в целом
	верх	середина	низ	все слои	верх	середина	низ	
Среднее значение	0,87	0,80	0,68	0,78	0,85	0,79	0,72	0,84
Максимум	2,17	2,16	1,62	2,17	1,93	1,53	1,77	1,77
Минимум	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,10	0,09	0,09
Количество измерений	191	193	169	553	112	112	110	112

Как видно из данных таблицы, минимальные значения прочности льда изменяются от 0,01 до 0,10МПа при среднем значении 0,09МПа, а максимальные – от 1,53 до 2,17МПа при среднем значении 1,77МПа.

Выполненные исследования и анализ полученных результатов показали, что наиболее благоприятным условием для развития процессов формирования наложенного льда является преобладание нагонного юго-восточного ветра, направленного нормально по отношению к расположению береговой черты.

Сформировавшиеся торосы относятся к блоковому или наслоенному типам, образование которых обычно происходит как за счет наслоения блоков один на другой, так и их подсовов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подобные комплексные полевые исследования ледяного покрова в восточном секторе Северного Каспия не выполнялись в течение последних 15-20 лет.

На основании представленных в отчете материалов наблюдений за ледяным покровом можно судить о сложности, многообразии и неоднозначности происходящих здесь ледовых процессов.

Зимний ледовый режим в исследуемом районе моря весьма сложен, а происходящие здесь ледовые процессы представляют реальную угрозу для всевозможных гидротехнических и иных инженерных сооружений, расположенных на берегу, а особенно на шельфе Северного Каспия, а также при осуществлении судоходства во льдах. Проектирование, строительство и безаварийная эксплуатация буровых установок в районе исследований также во многом будет зависеть от правильной оценки «ледового фактора» и грамотного использования в инженерной практике всех имеющихся на сегодняшний день данных о ледовом режиме в этой части акватории Северного Каспия.

Анализ полученных в результате экспедиционных исследований материалов на Контрактной территории ТОО «Жамбай» (участок Жамбай Южный и Южное Забурунье), выполненных зимой 2007/2008гг., показал, что ледовые процессы в районе проведения исследований проходили по типу, характерному для восточной части Северного Каспия.

За зимний сезон сумма отрицательных среднесуточных температур по Астрахани составила минус 640°С (показатель «умеренной» зимы), а по Атырау она составила более 900°С, что соответствует показателю «суровой» зимы.

Максимальная за сезон толщина ровного льда термического нарастания в районе исследований составила 40-60см, в то же время толщина льда в западной части Северного Каспия не превышала 35см.

Граница припая и кромка плавучих льдов постоянно меняли свое местоположение под воздействием ветров и течений. При усилении ветра любого направления до штормового (12 и более м/с) повсеместно происходили подвижки льда. Если в тонком льду (при толщине до 35см) при подвижках преобладают процессы наслоения льдин, то в более толстом льду (толщина более 35см) преобладают процессы торошения.

К сожалению, в последние годы, в силу известных обстоятельств, исследования ледового режима Северного Каспия были свернуты практически полностью, причем, сокращение работ происходило именно в те годы, когда уровень Каспийского моря интенсивно повышался, оказывая влияние и на изменчивость ледовых процессов (характер дрейфа, торошения, нарастание толщины льда, площадь ледяного покрова, сроки появления льда и очищение моря и др. моря и др.

Подвижки и дрейф льдов в мелководной северной части Каспийского моря способны оказывать существенное влияние на хозяйственную деятельность человека. Кроме этого, установлено, что возникновение мелкомасштабных зон гипоксии на мелководье в зимний период, в местах интенсивного торосообразования и скопления стамух, явление весьма распространенное. Оно приводит к резкому сокращению видового состава и общей биомассы

фитопланктона в заморных зонах, а в некоторых случаях и к полному его исчезновению.

Поскольку ледовому выпахиванию (взаимодействию дрейфующих льдов с морским дном) подвержены мелководные участки морского дна более чем на 50% площади Северного Каспия (свыше 200 квадратных километров), можно утверждать, что эти процессы имеют массовый (хотя и сезонный) характер, и потому играют важную роль в экологии данного водоема. Наряду с чисто механическим перемещением огромных масс донного грунта происходит угнетение донной, островной и прибрежной растительности и организмов. В период весеннего разрушения ледяной покров может играть и положительную роль, очищая устьевое взморье Волги, Урала и прибрежные мелководья от отмершей прошлогодней растительности, снижая тем самым вероятность возникновения здесь заморных явлений в теплый период года. Серьезную угрозу представляют каспийские льды для деятельности нефтяных компаний, которые в ближайшем будущем приступят к промышленной добыче углеводородного сырья на разведанных участках акватории Северного Каспия.

Учитывая это, на наш взгляд в будущем следует предусмотреть:

- возможность возобновления регулярных совместных визуальных ледовых авиаразведок по всей акватории Северного Каспия (казахской и российской) с периодичностью приблизительно: 1 раз в 10 дней при установившемся ледяном покрове (январь - февраль), и 1 раз в 3-7 дней в периоды развития ледяного покрова (ноябрь-декабрь) и его разрушения (март-апрель);

- целесообразность более активного привлечения для этих же целей регулярной оперативной космической (спутниковой) информации о состоянии и изменчивости во времени ледяного покрова;

- возможность изучения физических, динамических и др. характеристик непосредственно на льду, в местах предполагаемой постановки буровых установок, с помощью вертолета и наземных транспортных средств;

- разработку и внедрение новых методов ледовых прогнозов.

В связи с выше изложенным, для более полной оценки возможного неблагоприятного влияния льдов на будущую производственную деятельность на Контрактной территории ТОО «Жамбай», считаем целесообразным продолжение ледовых исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас льдов Каспийского моря. Гидрометеиздат, Л., 1961.
2. Бухарицин П.И. Гидрологические процессы в Северном Каспии в зимний период // Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук в форме научного доклада. М., 1996.
3. Бухарицин П.И. Метод расчета и прогноза толщины наслоенного льда в открытых районах Северного Каспия. - Водные ресурсы, № 5, 1992, с. 60 - 64.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей. том VI, Каспийское море. Вып. 1 гидрометеорологические условия, С-П, 1992.
5. Цуриков В.Л. К вопросу о влиянии плотности льда на его прочность (Тр. ГОИН. - 1947. - Вып.2/14) - с. 89 - 106.

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ВОЛГО-КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ НА ПЕРИОД ДО 2017 г.⁶

При разработке долгосрочного прогноза климатических изменений в северо-каспийском регионе использованы известные на сегодняшний день основные закономерности зависимости климата Земли от циклов солнечной активности и флуктуаций скорости вращения Земли под влиянием гравитационного взаимодействия Земли с Луной, Солнцем и планетами солнечной системы.

ВВЕДЕНИЕ

В работе Н.С. Сидоренкова [2] приводятся тесные связи флуктуации вращения Земли с колебаниями климатических характеристик. В период замедлений скорости вращения Земли повторяемость меридиональной формы атмосферной циркуляции (С) в первом секторе Северного полушария (от 50° з.д. до 80° в.д.) увеличивается, а зональной (W и E) уменьшается.

Уменьшаются массы льда в полярных областях и темпы роста глобальной температуры воздуха, общее количество облачности и осадков. Увеличивается средняя скорость ветра в приземном слое и испарение с поверхности суши и моря.

В 1973 г. Начался период ускоренного вращения Земли, который закончиться в 2005-2010 гг. и наступит период замедленного вращения Земли, что приведет к началу новой климатической эпохи, которая продлится около 35 лет (до 2040-2045 гг.).

Влияние цикличности процессов солнечной активности на климат Земли установлено более двух веков назад и сейчас ни кем не оспаривается. Основные циклы солнечной активности следующие:

- 11-ти летние циклы (Швабе-Вольфа) определяются количеством пятен на Солнце. За цикл взят промежуток времени между двумя минимумами солнечных пятен. Продолжительность цикла от 7,3 до 17,1 года, в среднем 11,2 года (отсюда название «11-ти летние»). Начиная с 1755 г. каждый цикл имеет порядковый номер. В настоящее время продолжается 23 цикл (начался в 1996 г.);
- 22-летние циклы (Хойла). При переходе от одного 11-ти летнего цикла к другому меняется полярность головного и хвостового солнечных пятен в каждом полушарии Солнца, что позволило Хойлу выделить 22-летний цикл, состоящий из четного и нечетного 11-ти летних циклов;
- 80-летние («вековые») циклы установил А.Л. Ганский. В 1939 г. Глейсберг рассчитал продолжительность вековых циклов в 78 лет. Существование этих циклов подтвердил М.Н. Гневышев;
- 190-летние циклы («индиктион»). В 1948 г. Л.Л. Предтеченский установил цикл солнечной активности в 190 лет, который был назван индиктионом - возвращающимся, Д.А. Бонов рассчитал продолжительность индиктиона в 176 лет (8 циклов по 22 года).

⁶ The influence of solar activity on long-term climatic events in the north-caspian region for the period till 2017 [Текст] / P.I. Buharitsin, A.N. Andreev // Proceedings of the 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions July 10-14, 2011 Montréal, Canada. Copyright 2011 National Research Council of Canada. All rights reserved.

Различия в магнитных свойствах четных и нечетных 11-ти летних циклов определяют различия их воздействия на климат Земли. С середины 2007 г. начнется новый 24-ый одиннадцатилетний цикл. Цикл четный. Его влияние на климатические характеристики проявятся в следующем:

- в периоды максимумов солнечной активности цикла атмосферное давление в арктической зоне будет понижаться, а в умеренных широтах повышаться;
- в максимумы солнечной активности будет усиливаться зональный тип циркуляции атмосферы;
- сильно развитые униполярные магнитные поля будут усиливать меридиональный тип атмосферной циркуляции в четный 11-летний цикл;
- обострение меридиональной циркуляции в средних широтах усилит температурные контрасты за счет вторжения арктического воздуха до широты 30-50° с.ш. и приведет к общему понижению температуры воздуха.

Примечание:

с учётом суммарной площади солнечных пятен в 11 -летнем цикле помимо основного выделяют еще три максимума активности:

- за 1-2 года до основного;
- через 1-2 года после основного;
- через 5 лет после основного.

Кроме того:

- униполярные магнитные поля на Солнце наиболее развиты на ветви спада и у минимума солнечной активности 11-летних циклов, что обуславливает наличие двух максимумов в атмосферных процессах, связанных с секторной структурой магнитных полей:

- при максимуме солнечной активности;
- незадолго до минимума солнечной активности.

ПРИМЕЧАНИЕ

Влияние солнечной активности на климатические характеристики носит региональный характер, усиливая атмосферные процессы в одних регионах и ослабляя в других. Изменение климата по побережью и акватории Северного Каспия имеют однонаправленный характер. Так, температурный режим по данным МС Астрахань, Тюлений, Кулалы, Ганюшкино, Атырау, Пешной, Форт-Шевченко за 1938-2003 г. изменяется синхронно и синфазно. Периоды резкого изменения температуры воздуха наступают одновременно и имеют один тренд - повышение или понижение.

Имея данные наблюдений за температурой воздуха по МС Астрахань с 1836 г., можно выявить особенности температурного режима на протяжении с 8-го по 23-й одиннадцатилетний цикл солнечной активности и распространить их на весь северо-каспийский регион.

Выделен индиктион (1833-2007 г.). Он состоит из двух вековых циклов (1833-1923 и 1924-2007 г.) и из восьми 22-летних. Продолжительность цикла 175 лет (что соответствует расчетам Д.А. Бонова).

Каждый вековой цикл состоит из восьми 11-ти летних. Продолжительность первого - 91 год, второго - 84 года.

Особенности температурного режима циклов солнечной активности следующие:

- средняя температура воздуха четного 11-летнего цикла холоднее нечетного, в паре составляющих 22-летний цикл Хойла, в среднем на 0,5°С;
- средняя температура холодного сезона года (ноябрь-март) четного цикла холоднее нечетного, в среднем на 0,9°С;

- средняя температура воздуха марта четного цикла на $0,8^{\circ}\text{C}$, февраля на $1,7^{\circ}\text{C}$, а декабря на $1,1^{\circ}\text{C}$ холоднее соответствующих температур нечетного цикла;
- средняя температура воздуха фазы спада солнечной активности четного 11-летнего цикла холоднее нечетного, в среднем на $1,0^{\circ}\text{C}$;
- наиболее низкую температуру на протяжении «векового» цикла солнечной активности имеет первый и третий 11-летние циклы; с пятого по восьмой 11-летние циклы температура воздуха повышается;
- средние температуры воздуха 22-летних циклов повышаются от первого к четвертому (в составе «векового»);
- средняя температура четных и нечетных 11-летних циклов, в составе «векового» повышается от первого к четвертому;
- наибольший рост температур воздуха в первом и четвертом 22-летних циклах ($0,6^{\circ}\text{C}$).

В целом, на протяжении «векового» цикла солнечной активности (80-90 лет) температурный режим развивается следующим образом: понижение температуры на протяжении первого и третьего 11-летних циклов ниже нормы ($9,6^{\circ}\text{C}$), с пятого по восьмой 11-летних циклов повышение температуры выше нормы.

Существенно различается температурный режим на разных фазах развития 11-летних циклов. На фазу спада солнечной активности приходится около 70% экстремально холодных и теплых лет (зимних сезонов). Повторяемость холодных лет в 3 раза чаще в четных 11-летних циклах, а повторяемость теплых лет (зимних сезонов) в 2 раза чаще в нечетных 11-летних циклах.

Новый, 24-ый четный одиннадцатилетний цикл солнечной активности начнется в середине 2007 г. и продлится до середины 2017г. (прогноз). Общая продолжительность цикла составит $10,8 \pm 0,7$ лет. Основной максимум солнечной активности первой в половине 2011 г. Максимумы 5-6 летних циклов ожидаются на конец 2009 г. - начало 2010 г. и конец 2014 г. - начало 2015 г. (рис.1.).

Характерное для четных 11-ти летних циклов понижение атмосферного давления в полярных областях в периоды повышения солнечной активности приведет к смещению центра арктического антициклона к северо-востоку. Атлантические циклоны, формирующиеся во влажном морском воздухе, будут проходить севернее обычного, что приведет к уменьшению количества осадков в бассейнах Волги и Камы и уменьшению годового стока реки Волги в Каспийском море.

В северо-каспийском регионе увеличится антициклоничность климата под влиянием гребня Азорского и Сибирского антициклонов. Погода станет засушливее. Количество осадков уменьшится, особенно в осеннее - зимний период и весной. Континентальная арктическая воздушная масса, в которой формируется Сибирский антициклон, в результате интенсивного радиационного выхолаживания в зимний сезон года определит резкое понижение температуры воздуха.

Усиление меридиональной формы циркуляции атмосферы в периоды максимумов солнечной активности приведет к еще большему понижению температуры воздуха в осенний зимней сезон за счет вторжения арктического воздуха по нормальной полярной и ультра полярной осям.

Средняя годовая температура воздуха в 24-ом цикле составит около 9°C , что на $0,6^{\circ}$ ниже многолетней нормы и на $1,8^{\circ}\text{C}$ ниже, чем в 23-ом цикле (1996-2007г.г.). Понижение средне годовой температуры произойдет за счет резкого снижения температуры холодного сезона года (ноябрь-март) до $-3,0$ - $3,5^{\circ}\text{C}$, что $0,7$ - $1,2^{\circ}\text{C}$ ниже нормы и на $3,0$ - $3,5^{\circ}\text{C}$ ниже, 1996-2007 г.г.

Таким образом, в предстоящие 11 лет (2007-2017г.г.), по Астраханской области и акватории Северного Каспия следует ожидать засушливую, с холодными зимами и сильными восточными ветрами, погоду. Общее снижение количества осадков по Волго-Камскому бассейну приведет к уменьшению объемов годового стока реки Волги, к низким весенним полноводьям, уменьшению до критических значений глубин в летнюю и зимнюю межень, снижению уровня Каспийского моря. Увеличится продолжительность ледостава в дельте Волги и на Северном Каспии. Продолжительность зимы, вместо привычных за последние 20 лет 80-100 дней, увеличится до 100-120, а в отдельные годы до 120-140 дней. Исходя из имеющегося прогноза солнечной активности на 24-ый цикл и особенностей распределения температурного режима четного 11-ти летнего цикла можно предположить, что холоднее нормы будут зимние сезоны 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011, 2012/2013, 2013/2014, 2015/2016 годов. Очень суровыми, продолжительностью 4,5-5,0 месяцев, следует ожидать зимние сезоны 2008/2009, 2012/2013, 2013/2014 и 2015/2016 годов.

Характеристика зим. Подсчитана повторяемость «очень суровых» и «суровых» зим за период 1924-2006гг. Было зарегистрировано 8 «очень суровых» зим (10%), 9 «суровых» (11%) и 65 - остальные зимы (79%). Таким образом, повторяемость ОС зим составила за весь период наблюдений 1 раз в 10 лет, С зим – 1 раз в 5 лет [1]. В последнее время в низовьях Волги и на Каспийском море происходила существенная перестройка климатических процессов. Сказалась она и на повторяемости суровых зим. Очень суровая (ОС) зима последний раз наблюдалась в зимний сезон 1968/1969гг. В последующие 37 лет «очень суровых», и даже «суровых» зим в низовьях Волги и на Северном Каспии не наблюдалось (табл.1).

Таблица 1.

Сумма среднесуточных отрицательных температур воздуха за зиму по Астрахани (с 1984 по 2010 гг.).

Годы	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	Сумма
1984-1985	с 01.11 -50,6	-224,4	-172,0	-178,7	до 21.03 -99,5	-725,2
1985-1986	с 18.11 -31,5	-89,8	-71,1	-153,3	до 25.03 -32,6	-378,3
1986-1987	с 15.11 -37,2	-81,2	-253,3	-187,3	до 29.03 -102,0	-661,0
1987-1988	с 11.11 -28,3	-86,4	-206,4	-223,8	до 11.03 -5,8	-550,7
1988-1989	с 03.11 -15,7	-60,3	-76,6	до 20.02 -41,8	-	-194,4
1989-1990	с 19.11 -9,5	-49,5	-120,5	-98,3	до 16.03 -1,3	-279,1
1990-1991	-	с 10.12 -93,6	-108,6	-162,9	до 11.03 -24,4	-389,5
1991-1992	с 02.11 -7,6	-111,7	-92,6	-86,6	до 17.03 -13,1	-311,6
1992-1993	с 26.11 -3,0	-122,1	-113,9	-139,7	до 16.03 -52,8	-431,5
1993-1994	с 08.11 -209,2	-116,6	-113,6	-149,7	до 15.03 -53,8	642,5
1994-1995	с 06.11 -30,9	-147,8	-29,2	-14,4	до 17.03 -26,6	-248,9
1995-1996	с 14.11 -1,4	-121,4	-228,3	-134,0	до 29.03 -31,6	-516,7

1996-1997	-	-100,8	-205,2	-133,0	до 8.03 -0,8	-439,8
1997-1998	с 06.11 -17,7	-140,8	-198,5	-201,6	до 26.03 -9,7	-568,3
1998-1999	с 10.11 -59,5	-88,4	-70,2	-31,1	-3,9	-253,1
1999-2000	с 08.11 -95,8	-17,1	-27,8	-12,0	-	-152,7
2000-2001	с 11.11 -21,8	-41,6	-88,8	-68,6	-2,8	-223,6
2001-2002	с 06.11 -3,7	-117,6	-61,7	-13,0	-	-196,0
2002-2003	-11,6	-289,3	-74,5	-155,5	-29,1	-560
2003-2004	-	с 02.12 -21,0	-58,7	до 22.02 -18,7	-	-98,4
2004-2005	с 23.11 - 18,5	-7,7	-35,9	-116,5	-	178,6
2005-2006	-	с 22.12 -10,9	-346,7	-129,1	-	-486,7
2006-2007	с 19.11 -34,9	-37,1	-7,9	-84,7	-1,4 по 17.03	-166,0
2007-2008	с 7 .11 -28,7	-100,3	-274,9	-141,0 по 22.02	-	-544,9
2008-2009	-	с 14.12 -142,3	-1,3	-60,0	-13,5	-217,1
2009-2010	-	с 15.12	-	по 19.02	-	-407,7 умеренн.

Толщина льда. Максимальной толщины ровный лёд естественного нарастания на Северном Каспии достигает в январе — феврале и даже в очень суровые зимы, как правило, не превышает 60 см в северо-западной части моря, и 90 см в северо-восточной (табл. 2.).

Таблица 2.
Абсолютные максимумы толщины льда по пунктам дельты Волги и Северного Каспия, см

Пункт	Декабрь			Январь			Февраль			Март	
	1-я декада	2-я декада	3-я декада	1-я декада	2-я декада	3-я декада	1-я декада	2-я декада	3-я декада	1-я декада	2-я декада
Астрахань	32	42	46	49	47	52	60	64	64	62	60
Икраное	19	37	40	41	44	55	66	71	71	67	63
Оля	19	27	29	32	35	45	52	55	55	46	35
о.Искусственный	15	20	21	28	38	49	52	55	55	47	36
о.Тюлений	20	20	20	20	40	45	50	52	50	50	43
о.Чистая Банка	17	22	26	28	42	56	69	70	68	67	59
о.Укатный	28	36	43	46	47	53	53	54	56	60	60
о.3.В Шальга	35	47	58	61	64	64	64	64	70	74	72
о.Б. Пешной	35	41	60	75	64	72	75	78	75	70	69
Жилая Коса	25	45	60	66	70	73	83	86	88	90	89
о.Кулалы	16	23	26	29	34	46	46	55	56	57	54

ВЫВОДЫ

Столь значительные прогнозируемые изменения климатических и гидрологических условий, безусловно, негативно скажутся на деятельности всех, без исключения, отраслей народного хозяйства не только Астрахани, Астраханской области, но и всего северо-каспийского региона. Это приведет к значительным дополнительным материальным затратам как в теплые, так и в холодные сезоны рассматриваемого периода.

Усиление аридности климата региона отразится на сельском хозяйстве, водном транспорте, затронет рыбную отрасль. В летние месяцы будет происходить интенсивное цветение воды в водоемах Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги. От недостатка воды будет происходить массовое пересыхание малых и средних водотоков в пойме и дельте Волги. Особенно этому будут подвержены водоемы района ЗПИ.

Потребуется выполнение дополнительных объемов дноуглубительных, мелиоративных работ, а, возможно, и реконструкции многих существующих прибрежных морских и речных гидротехнических сооружений и объектов. Резко возрастут расходы жилищно-коммунального комплекса на обеспечение водой населения, особенно в периоды летне-осенней межени, и на отопление жилых, служебных и производственных помещений в холодные сезоны. Значительно возрастет потребление электрической и тепловой энергии, различных видов топлива.

Понижение уровня Каспийского моря в первую очередь скажется на его мелководной, северной части. В летние, жаркие сезоны это приведет к интенсивному прогреву и испарению воды с обширных мелководий Северного Каспия, возрастанию солености морской воды до опасных значений, возникновению обширных зон с гипоксией.

В холодные сезоны, в результате пониженной теплоемкости мелководий под воздействием низких температур и интенсивного волнового перемешивания в начальный период ледообразования, на Северном Каспии будет образовываться мощный ледяной покров, толщина которого к середине зимы будет достигать своих максимальных, многолетних значений (табл. 2). В связи с падением уровня Каспия и уменьшением глубин в мелководной северной части моря резко возрастает интенсивность процессов торошения льда. Особую угрозу будут представлять сплоченные плавучие льды, выносимые ветром и течениями в глубоководную, среднюю часть моря и дрейфующие вдоль берегов на юг. Дно моря практически повсеместно на всей акватории Северного Каспия будет подвержено выплывающему воздействию тяжелых дрейфующих льдов. Возрастет повторяемость и интенсивность опасных сгонов воды, что будет приводить к массовой гибели рыб, особенно в зимние месяцы подо льдом и весной, во время ее концентрации на нерест.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарицин П.И. Опасные гидрологические явления на Северном Каспии // Водные ресурсы, Том 21, №№ 4-5, 1994. С. 444-452.
2. Сидоренков Н.С. Приливы дирижируют погодой. // «Земля и Вселенная» №5, 2003.

РОЛЬ ДРЕЙФУЮЩИХ ЛЬДОВ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА ДНА И СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА МЕЛКОВОДЬЯХ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ⁷

Подвижки и дрейф льдов в мелководной северной части Каспийского моря способны оказывать существенное влияние на хозяйственную деятельность человека. Активизация деятельности нефтяных компаний России и Казахстана с его зарубежными партнерами по разведке углеводородного сырья на шельфе Северного Каспия потребовала серьезного научного, экологического и технического обеспечения этих работ. В данной работе приведены результаты совместных ледовых исследований.

Преобладающим типом современных донных отложений северной части Каспийского моря является алеврит (песчаный ил, ил). Мощные отложения мягкого ила находятся в предустьевых районах, которые формируются наносами рек. Во всех грунтах имеется примесь битой и целой ракушки, а на некоторых участках она является основной составной частью донных осадков. Она представлена следующими формами: *Cardium edule*, *Didacna trigonoides*, *Didacna barbot-de-marnyi*, *Adacna plicata*, *Monodacna edentula*, *Dreissensia polymorpha*, *Dreissensia distincta*, *Theodoxus pallasii*, *Zagrabica brusiaiana*, *Caspiella eichwaldi*. С поверхности отложения больше обогащены илистым материалом, который аккумулируется за счет отмирания и разложения водорослей *Zostera*, пылеватыми осадками эолового происхождения. По оценке Б.И. Кошечкина (1958 г.) процентное содержание в грунтах крупных фракций (размер обломков раковин равен более 1 мм) составляет от 6 до 19,2 %. На некоторых участках дна под незначительным (менее 10см) слоем современных отложений скрывается древняя порода – хвалынская глина. Многочисленные подводные банки и некоторые острова Северного Каспия (например, о. Малый Жемчужный) практически полностью состоят из целой и битой ракушки.

Принято считать, что основной причиной разрушения раковин погибших моллюсков является морское волнение. Однако в силу чрезвычайной мелководности морского края дельты Волги и всей восточной

Рис. 1. В пробах грунта преобладают обломки раковин.



⁷ The role of drifting ice in building the bottom landscape and sediment composition in the shallow waters of north Caspian sea / Buharitsin P., Ayazbayev E. // ISSN 0376-6756. Material of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (June 9-13, 2013, Espoo, Finland). Finland, Helsinki 2013.

части северного Каспия, даже при значительных штормах не развивается сильное волнение. Повторяемость волн высотой 0,5 м составляет 58,6 % [3]. Максимальная же высота волн здесь не превышает 1,0 м. Этого явно недостаточно, чтобы происходило дробление довольно прочных раковин *Didacna trigonoides* или *Didacna barbot-de-marnyi*. Скорее они будут медленно перетираться и со временем истончаться, как, например, это происходит в прибойной зоне Дагестанского побережья.

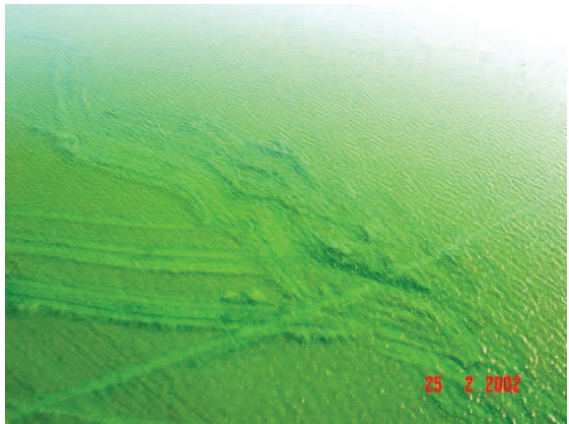
На наш взгляд главной причиной механического разрушения раковин являются дрейфующие льды. Впервые воздействие дрейфующих льдов на дно мелководных районов Северного Каспия исследовано и описано в трудах Лаборатории аэрометодов АН СССР [2].

В последующие годы эти работы были продолжены. В результате исследований установлено, что борозды выпаживания представляют собой длинные, часто прямолинейные борозды протяженностью от нескольких десятков метров до нескольких километров.

Борозды образуются при воздействии на дно торосистых дрейфующих льдов, ориентированы в направлении преобладающих в эти периоды восточных, юго-восточных и северо-западных ветров и представляют собой как бы проведенные по дну векторы дрейфа льда.

Рис. 2. Борозды выпаживания на дне Северного Каспия. Вид с вертолёта.

Ширина борозд колеблется от нескольких до 50-100 м и более, встречаются борозды, постепенно расширяющиеся в направлении движения льда. Некоторые



представляют собой кривые или ломаные линии, что говорит о постепенном или резком изменении направления дрейфа льда. Все борозды оканчиваются валами, образованными выпажанным грунтом. Высота некоторых превышает глубину моря, и они выходят на дневную поверхность в виде островков. Светлые на фоне более темного дна борозды выпаживания хорошо различимы с самолета. Большое количество борозд наблюдается в весенний период, после очищения ото льда, когда вода еще не взмучена весенними штормами, в районах островов Чапуренок, Чистая Банка, архипелага Тюленьих островов, а также на мелководьях северного и восточного побережий, где их густота достигает 20-50, а местами 100 и более борозд на 1 км маршрута. Продолжительность

существования борозд в илистых грунтах составляет 2-3 года, в песчаном



грунте борозды замываются волнением в течение одного сезона.

Рис. 3. Типичная борозда выпахивания на дне Северного Каспия. Подводная фотография.

Выпахивающее действие дрейфующих льдов характерно также для береговой зоны. Во время нагонов дрейфующие с

моря льды, попадая на сушу, выпахивают верхний слой почвы, оставляя следы выпахивания глубиной до 0,5м и длиной до нескольких километров. На островах Северного Каспия во время интенсивного дрейфа льда вдоль берега образуются мощные навалы льда. Обломки льдин, проникающие при этом в грунт на глубину до 1 м, сохраняются до конца мая. Известен случай, когда в районе устьевого взморья Волги на одном из островов дрейфующим с моря льдом был сдвинут с фундамента жилой дом.



Рис. 4. Типичная каспийская «зимняя» стамуха.

При посадке торосов на грунт (застамушивании) происходит дальнейшее накопление льда в результате торошения под воздействием подвижек и дрейфа. В результате стамухи под своей тяжестью могут внедряться в грунт на глубину до нескольких метров. Глубина их проникновения в грунт зависит от физико-механических свойств грунта, массы стамухи, площади соприкосновения, глубины моря.

Ледовому выпахиванию (взаимодействию дрейфующих льдов с морским дном) подвержено более чем на 50 % площади Северного Каспия. Эти процессы носят массовый (хотя и сезонный) характер, и потому играют важную роль в экологии Каспийского моря. Вследствие механического воздействия дрейфующих льдов происходит не только перемещение огромного количества донного грунта, при

этом и происходит разрушение находящихся на дне раковин отмерших моллюсков [1].

В результате интенсивных ледовых подвижек известны случаи разрушения и разгерметизации заглушенных разведочных скважин на шельфе восточного (казахского) сектора Северного Каспия. Большое количество этих скважин находились на морском побережье, но оказались затопленными в период подъёма уровня Каспийского моря (1976-1996).

Аналогичные процессы происходят и в российском секторе Северного Каспия. Производственный и экологический мониторинг, который российская компания Лукойл вот уже на протяжении ряда лет осуществляет за заглушенными разведочными скважинами, расположенными на лицензионных участках дна на глубинах от 6 до 28 м, пока не выявил серьёзных изменений, однако бетонная заглушка скважины, расположенной на глубине 6 м оказалась частично разрушенной, что косвенно указывает на воздействие на неё дрейфующих льдов. Кроме того, вокруг этой скважины водолазы зафиксировали на дне наличие битых раковин, чего не было обнаружено вблизи других скважин, расположенных на дне на больших глубинах.

В последние два десятилетия на Северном Каспии активизировались работы по освоению имеющихся здесь запасов углеводородов, сопровождающиеся проектированием и строительством стационарных платформ, подводных трубопроводов и других объектов нефтегазовой инфраструктуры. Поэтому 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарицин П.И., Лабунская Е.Н. Исследования морских льдов в целях обеспечения нефтеразведочных работ на шельфе Северного Каспия. // Вестник АГТУ. Сборник научных трудов. Экология. Астрахань, изд-во АГТУ, 2002. С.33-39.
2. Ещенко Л.А., Шипилова Л.М. О рельефообразующей роли шельфовых волн. // Каспийское море. Вопросы геологии и геоморфологии. «Наука», М., 1990. С. 87-96.
3. Кошечкин Б.И. Следы деятельности подвижных льдов на поверхности дна мелководных участков Северного Каспия // Труды Лаборатории аэрометодов АН СССР, Том 6. М., Л. 1958. С. 227-234.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА СЕВЕРНОГО КАСПИЯ⁸

В связи с интенсивным развитием космической техники в 70-е годы 20 века в России стали разрабатываться принципиально новые, перспективные методы изучения гидрологического режима морей и океанов, в том числе и оценки состояния и динамики морских льдов. Этому способствовал запуск специализированных искусственных спутников Земли (ИСЗ), а также создание сети автономных пунктов приема спутниковой информации (АППИ). В 1975 г. такой пункт был создан в Астрахани на базе Астраханской зональной гидрометеорологической обсерватории (АЗГМО). Зимой 1976г. со спутника NOAA были получены первые телевизионные снимки ледяного покрова Каспийского моря, которые были использованы для уточнения положения границ и кромок льда, полученных при выполнении визуальных ледовых авиаразведок. Предложен простой и оперативный метод составления ледовых карт по данным ИСЗ, положивший начало регулярным исследованиям каспийских льдов с использованием спутниковой информации.

Характерной особенностью гидрологического режима северной части Каспия является образование в холодную часть года довольно устойчивого ледяного покрова. Лед сохраняется, в зависимости от суровости зим, от 1,5 до 5 мес. в году. Лёд существенно влияет на работу морских отраслей народного хозяйства. Требования к объему и качеству информации о ледяном покрове год от года растут. Особенно актуальным это стало в связи с расширением поисково-разведочных работ и началом добычи углеводородного сырья на замерзающей части акватории моря. Использование спутниковой информации о ледяном покрове в оперативной работе началось в 1975г., после введения в строй в Астрахани автономного пункта приёма спутниковой информации. Были рассмотрены достоинства и недостатки традиционных (авиационных и наземных) методов наблюдений за ледяным покровом на Каспии. Впервые предпринята попытка регулярного использования телевизионных снимков ИСЗ "Метеор" и "NOAA" при составлении ледовых карт для более полного удовлетворения запросов морских отраслей народного хозяйства по оперативному обслуживанию, а также в научных целях. Показаны новые возможности, которые дает спутниковая информация в изучении морских льдов при ее использовании совместно с данными, полученными с помощью традиционных методов наблюдений. В 1978г, впервые на Каспийском море в оперативных целях был применён графо - оптический способ трансформации изображений ледяного покрова Северного Каспия с фотоснимков ИСЗ "Метеор" и "NOAA" для составления ледовых карт (Рационализаторское предложение №54(1439) от 01.08.1980г.). Предложенный способ позволил значительно ускорить процесс получения и обработки спутниковой информации (очень важный фактор в оперативной работе), а также повысить информативность ледовых карт, полученных в процессе дешифрирования ТВ снимков ИСЗ путем выполнения синхронных и квазисинхронных с авиаразведками съемок [1].

⁸ Use of satellite data in mapping northern Caspian ice cover / Buharic.P.I., E.Kh. Ayazbayev // Материалы 22nd IAHR International Symposium on Ice, 11-15 August 2014, Singapore. (электронный вариант, на флэш-карте). – P.119-126.

Сравнительная оценка точности ледовых карт, полученных по телевизионным снимкам ИСЗ "Метеор", с синхронными картами ледовых авиаразведок показала удовлетворительное совпадение границ припая, кромок сплоченного дрейфующего льда, а также размеров и положения заприпайных полыней, равную в среднем 3-5 милям, причем на получение и обработку спутниковой информации требуется минимальное время (20-30 минут), что значительно повышает оперативность и качество ледовых карт. Это позволило использовать спутниковую информацию в качестве основной в предполетной подготовке ледовых разведчиков, при согласовании маршрутов очередных ледовых разведок с экипажами самолетов, при корректировке и уточнении ледовой обстановки по тем районам моря, где разведка льда по тем или иным причинам не производилась, а также для оперативного обеспечения морских отраслей народного хозяйства и в научных целях (Бухарицин, 1983, 1984, 1987).

Благодаря спутниковой информации удалось проследить процесс возникновения и развития важного и изменчивого элемента зимнего гидрологического режима - заприпайных полыней. Ледовые авиаразведки такой возможности не давали ввиду недостаточной частоты наблюдений и полноты данных [2].

Места возникновения полыней и процессы их развития определяются скоростью, направлением и продолжительностью действия ветра, а также скоростью и направлением подледных течений. С помощью данных ИСЗ было установлено, что на Северном Каспии, при устойчивых и сильных отжимных ветрах, между припаем и дрейфующим льдом образуются полыни шириной от сотен метров до 10 миль и более и протяженностью иногда до 100 миль и более. Образованию таких гигантских полыней способствуют поверхностные дрейфовые течения, возникающие под действием ветра на свободной ото льда поверхности моря. При смене ветра ледовая обстановка может очень быстро измениться. Дрейфующие льды закрывают существующие полыни, а с наветренной стороны в это же время образуются новые.

Нанесенные на сводную карту обширные заприпайные полыни, зафиксированные с помощью ИСЗ в течение 1980-90 гг. позволили определить районы Северного Каспия с устойчивым припаем, т.е. районы моря, где неподвижный лед сохраняется в течение всего ледового периода с момента образования до весеннего взлома.

Установлено, что в период формирования ледяного покрова смещение границ припая к югу происходит не постепенно, как считалось ранее, а скачкообразно, на десятки миль сразу, по мере сплочения дрейфующего льда под воздействием ветра и его последующего смерзания. Границы между более старым и молодым припаем часто бывают четко обозначены многокилометровыми грядами торосистого льда, подобных тем, какие образуются на дрейфоразделах арктических морей. Они хорошо видны на спутниковых фотографиях и легко дешифрируются.

При выполнении ледовых авиаразведок, в самый разгар зимы, наблюдатели неоднократно отмечали наличие полыней в тех районах моря, где по расчётам должен быть припайный лёд. Попытки объяснить это наличием только динамических факторов (подледными течениями, дрейфом льда) не подтверждались. С появлением ИСЗ количество информации о наличии таких полыней возросло. Анализ накопленных авиа и космических данных позволил сделать вывод о том, что некоторые полыни образуются ежегодно в одних и тех же местах. Брусиловский С.А. (1986) высказал предположение о взаимосвязи расположения полыней с наличием соляных куполов на акватории Северного Каспия. Проведенный анализ подтвердил такую связь – положение стационарных

полюней практически совпадает с местами выхода соляных куполов на дне Северного Каспия [2].

Благодаря совместным авиационным и спутниковым данным удалось проследить изо дня в день последовательные изменения в распределении льдов на всей акватории Северного Каспия, чего не мог дать ни один из существующих ранее традиционных методов, в том числе и авиационный. Было установлено, что:

- в период стояния низких уровней моря, при отметках минус 29,0-28,5 м.абс. дрейфующий лед в Гурьевской бороздине, даже во время сильного западного дрейфа не проникает за мелководный Бузачинский порог в западную часть моря. Дрейф льда ограничен физическими размерами Гурьевской бороздины;

- выявлена связь возникновения и расположения разводий и заприпайных полюней с направлением, скоростью и продолжительностью действия ветра;

- выявлено наличие устойчивого ледяного массива, ежегодно образующегося между островами Чистая Банка и Малый Жемчужный, и сохраняющийся здесь в течение всего зимнего сезона;

- прослежена последовательность процессов весеннего взлома припая;

- подтверждена возможность обнаружения районов и определение границ загрязненного льда;

- возможность обнаружения и определение протяженности весенних заторов льда в морской части Волго-Каспийского канала.

Существенную роль в количестве и качестве спутниковой информации играют погодные условия, главным образом облачность. Ее наличие резко снижает информативность ледовых карт, а 7-10 балльная облачность полностью исключает возможность применения данных ТВ снимков ИСЗ. Информативность ледовых карт, полученных с помощью ИСЗ, равна 20-70% (средняя 50%) от информативности ледовых авиаразведок, которая принимается за 100%.

С зимы 1978/79 г. прием спутниковой ледовой информации, ее дешифровка и использование в оперативных и научных целях производятся согласно методическим указаниям (Бухарицин, 1981).

В последующие годы приём и обработку данных о ледяном покрове Северного Каспия стали на регулярной основе осуществлять ААНИИ, ЕСИМО и другие организации, в том числе и зарубежные.

Выполнение же ледовых авиаразведок на Северном Каспии в последние годы практически полностью прекращено, и данные ИСЗ стали единственным источником получения информации о распределении и динамике Каспийских льдов.

В результате многолетних ледовых исследований был создан электронный архив ледовых карт Северного Каспия [3].

Анализ оперативных ледовых карт составленных ААНИИ и ЕСИМО в зимний сезон 2013г по данным ИСЗ показал высокую достоверность и точность таких характеристик ледяного покрова, как положение границ припая и плавучих льдов, заприпайных полюней и разводий, зон сплочённых и разреженных льдов, густота дрейфующих льдов и размеры льдин, заснеженность льда. Однако, одна из самых важных характеристик – толщина льда термического нарастания, изображённых на ледовых картах соответствующими символами, совершенно не соответствует фактически измеренным “in situ” толщинам льда. Так, результаты многочисленных фактических инструментальных измерений толщины припайных и плавучих льдов в восточной части Северного Каспия выполненных авторами в период с 6 февраля по 15 марта 2013г показали, что самая минимальная толщина ровного

льда составила 45 см, а максимальная – 90 см, что соответствует градациям тонкий и средний белый лёд (табл.1).

Таблица 1.
Измеренные толщины ровного льда термического нарастания (припайного и плавучего).

Дата наблюдения	№ точки	Координаты	Глубина моря, м.	Измеренная толщина льда, см.	Примечание
06.02.2013г.	1.	N 46° 12' 00"; E 50° 34' 02"	4,0	48	Измеренные размеры обломков льдин в торосах (в см): 30x60; 80x120; 150x200. Отдельные льдины достигают размеров 2x4м. Толщина обломков льдин в пределах от 45 до 53 см.
	2.	N 46° 12' 00"; E 51° 00' 00".	6,5	40	Плавучий лёд
08.02.2013г.	3.	N 45° 52' 30"; E 51° 00' 00"	9,0	41	Плавучий лёд
	4.	N 45° 52' 20"; E 50° 45' 10"	3,5	45	Плавучий лёд
	5.	N 45° 59' 59"; E 51° 41' 74"	7,9	45	Точка №5 находится в непосредственной близости от гигантской кольцевой стамухи, образовавшейся предположительно в конце декабря-первой половине января. Её размеры около 300 м. Замерены высоты наиболее заметных вершин этой стамухи с помощью вертолётного высотомера: 10м; 13м; 15м. Наибольшая инструментально зарегистрированная высота – 17 метров. Стамуха сложена из льдин различного размера (в см), от 30x30 до 100x150 и более. Отдельные глыбы размером с небольшую комнату. Толщина льдин варьируется в больших пределах от 45см до 90 см. Наиболее часто встречающаяся толщина составляет 53-60 см.
15.02.2013г.	6.			54	Припай у берега
	7.	N 46° 53' 79; E 50° 28' 95		53	Припай, 5 км от берега
	8.	N 46° 49' 35";		54	Припай, 10 км от берега

		E 51° 26' 836			
	9.	N 46° 45' 006; E 51° 22' 980		45	Припай
	10.	N 46° 41' 133; E 51° 18' 465		49	Припай, 15 км от берега
16.02.2013г.	11.	N 46.07.30; E 50.53.30	7,9	47	Плавучий лёд
	12.	N 45.57.60; E 50.47.00	3,6	48	Плавучий лёд
	13.	N 45.57.60; E 50.53.30.	4,0	47	Плавучий лёд
	14.	N 46.02.60; E 50.40.30	5,1	49	Плавучий лёд
	15.	N 46.02.60; E 50.47.00.	5,5	50	Плавучий лёд
	16.	N 46.02.60; E50.53.30	7,05	50	Плавучий лёд
17.02.2014г.	17.	N 46.10.10; E 50.50.00	5,2	47	Рядом с точкой небольшая стамуха.
	18.	N 46.10.10; E 50.53.30	5,9	49	Плавучий лёд
	19.	N 46.10.10; E 50.57.00	6,0	47	Плавучий лёд
	20.	N 46.07.30; E 50.40.30	4,0	47	Плавучий лёд
	21.	N 46.07.30; E 50.47.00	4,9	53	Плавучий лёд
	22.	N 46.07.30; E 50.57.00	7,0	49	Плавучий лёд
18.02.2014г.	23.	N 46.00.00; E 50.37.30	5,2	48	Плавучий лёд
	24.	N 45.54.00; E 50.41.10	7,0	49	Плавучий лёд

	25.	N 45.52.30; E 50.37.30	4,0	47	Неподалёку от точки стамуха.
	26.	N 45.48.30; E 50.53.30	4,5	45	Гряда торосов, ориентированная с С на Ю. Протяжённостью 1,5-2,0 км. Высота по гребню 2,0-3,0 метра.
	27.	N 45.45.00; E 50.37.30	4,0	49	Плавучий лёд

Согласно же ледовым картам ИСЗ, как в западной, так и в восточной части моря толщина льда не превышала градации серо-белого льда (25-30см). Это говорит о том, что оценка толщины льда при дешифрировании спутниковых снимков в настоящее время весьма приближительна и не даёт надёжных и достоверных результатов, поэтому спутниковая информация обязательно должна уточняться и корректироваться данными подспутниковых (наземных) наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Использование телевизионных снимков ИСЗ " Метеор " для изучения ледовой обстановки на Северном Каспии / П.И. Бухарицин // Труды ГМЦ СССР. - М., 1983. - Вып. 255. - С. 70-75.
2. Стационарные полыньи в ледяном покрове Северного Каспия / П.И. Бухарицин // Тезисы докладов итоговой научной конференции АГПИ им. Кирова. - Астрахань, 1994. - вып. 4. - С. 73.
3. Разработка макета атласа ледовых явлений и образований на Северном Каспии и в низовьях Волги / П.И. Бухарицин, В.Ю. Шаромов // Доклады научно-практического совещания «Гидрометеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности в Арктике и замерзающих морях» (Санкт-Петербург 27-29 марта 2002). - С-П, 2002. - С. 307-311.

РОЛЬ ДРЕЙФУЮЩИХ ЛЬДОВ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА ДНА ЗАМЕРЗАЮЩИХ МЕЛКОВОДНЫХ ВОДОЁМОВ ЮГА ЕВРАЗИИ⁹

Результаты многолетних исследований ледового режима замерзающих мелководных водоёмов юга Евразии (Азовского моря, северной части Каспийского моря-озера, Аральского моря, озера Балхаш) дают основание предполагать, что, несмотря на существенные различия их гидрологического режима, процессы ледообразования и динамические процессы в ледяном покрове этих водоёмов имеют сходные черты. Установлено, что на изменения ледовитости и толщины льда оказывают влияние одни и те же факторы, что дает возможность прогнозировать не только толщину льда, среднюю ледовитость этих водоёмов, но и другие, более важные характеристики ледового режима, такие как подвижки и дрейф льда, торошение, зоны сжатий и разряжений, образование стамух и др. Характерной особенностью ледового режима всех выше названных мелководных водоёмов является наличие в них дрейфующих льдов в холодный период года, интенсивных подвижек и торошения льда под воздействием внешних сил (ветра, течений), и, как следствие, взаимодействие наслоённых и торосистых льдов с дном и берегами. Эти особенности играют важную роль в формировании рельефа дна и берегов этих водоёмов, и относятся к главным рельефообразующим факторам. В условиях интенсивно нарастающей хозяйственной деятельности важность и значение ледовых исследований неуклонно возрастает.

Устьевое взморье Волги и Северный Каспий. Ледяной покров на данной части акватории появляется ежегодно. Средняя дата первого появления льда - 8 декабря. Период между датой первого появления льда и началом устойчивого льдообразования в суровые и умеренные зимы составляет 2 – 3 недели. В мягкие зимы устойчивого льдообразования может не наблюдаться в течение всего зимнего периода. Припай устанавливается в суровые зимы в среднем через 10 дней, в умеренные - через 20 дней после начала устойчивого льдообразования. В суровые и умеренные зимы максимальная толщина ровного льда (до 40-50 см) отмечается в третьей декаде февраля. Вследствие интенсивных подвижек льда, вызываемых сильными восточными и юго-восточными ветрами, число слоев льда может достигать 8-10, а толщина наслоенного льда 1,5-2 м. Иногда лед набивается до дна. Под влиянием ветра и течений на устьевом взморье Волги и в мелководной северной части Каспийского моря в период ледостава наблюдается дрейф плавучего льда. В зависимости от результирующего направления движения лед дрейфует:

- вдоль кромки припая (при этом вдоль кромки образуются пояса, гряды и барьеры торосов, протяженность которых может достигать нескольких километров, их ширина составляет 10 м и более, а высота до 2м и более. Гряды торосов обычно вытянуты параллельно морскому краю дельты);
- от кромки припая в сторону открытого моря (в таких случаях между кромкой припая и массивом дрейфующего льда образуется заприпайные полыньи, протяженность которых составляет нескольких десятков километров, а их ширина

⁹ Role of drifting ice in bottom relief formation of freezing shallow waters of the south of Eurasia / Buharicin.P.I. // ISSN 2414-6331. Материалы 23RD IAHR International Symposium on Ice, 31 May-03 June 2016, Ann Arbor, Micigan. (США). (электронный вариант, на флэш-карте). – P.1-9.

- сотен метров. Иногда длина некоторых гигантских полыней может достигать более 100 миль, а ширина – до 20 миль. При этом в ледяном массиве происходит общее разряжение и уменьшение сплоченности плавучих льдов);

- к кромке припая, перпендикулярно ее генеральному простиранию (в этих случаях происходит взлом припая, его интенсивные подвижки, а в зоне морского бара образуются многочисленные стамухи – торосистые образования, сидящие на грунте. Происходит сплочение плавучих льдов, внутри ледяного массива образуются зоны сжатия);

- хаотический, беспорядочный, дрейф льда, при котором отдельные ледяные поля в массиве движутся каждое со своей скоростью и по своей траектории (при этом в ледяном массиве происходит интенсивное площадное наслоение и торшение льдов, образуются локальные зоны сжатия и разряжения) [1].

Подвижки ледяных полей приводят к возникновению зон сжатия и разряжения льда. Сильные сжатия возникают при восточных и юго-восточных ветрах со скоростью 12 м/с и более, а также при переходе от юго-восточного к северо-западному. Этому способствуют сгонно-нагонные колебания уровня моря, величина которых может достигать 1,5-2,0 м. В зонах сжатия происходит интенсивное наслоение льдов и торшение и образование стамух – торосов сидящих на грунте. В зонах разряжения образуются полыни и разводья. Наслоение льда в Каспийском море наблюдается практически ежегодно в результате надвигов одной ледяной пластины на другую. Как правило, в наслоении участвует молодой лед толщиной менее 30 см. Максимальная толщина наслоенного льда может достигать здесь 3 м, а торосистость льдов, по данным ледовых авиаразведок, 3-4 балла. Начало разрушения ледяного покрова после суровых зим отмечается в первой-третьей декадах марта, после умеренных в третьей декаде февраля, после мягких - в первой декаде февраля. Окончательное очищение ото льда акватории Северного Каспия в районах деятельности Российских нефтяных компаний после суровых зим происходит в первой декаде апреля, после умеренных - во второй декаде марта. Продолжительность ледового периода в зависимости от суровости конкретной зимы колеблется в значительных пределах и составляет 18 – 136 суток.

На Северном Каспии различают стамухи осеннего и зимнего происхождения. Стамухи осеннего происхождения образуются в ноябре-декабре из тонкого 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 глубин 2 м. Стамухи зимнего происхождения обычно образуются из серо-белого и белого льда толщиной 20-70 см. Они могут достигать размеров 100-300, иногда 500 м в поперечнике и высоты 10-15 м. Максимальная зарегистрированная высота паруса стамухи составила 20 м. Максимальная глубина, до которой документально зафиксировано образование стамух на Каспийском море, составляет 12 м [2].

При прочих равных термических условиях ледообразования важным фактором, определяющим интенсивность ледово-экзарационного процесса, является текущее положение уровня моря. Колебания уровня Каспия, достигавшие в XX веке амплитуды 3.5 м, в общем случае оказывают заметное влияние на рельеф мелководий, в значительной мере определяющий торосистость Северного Каспия [3]. Учитывая неравномерное распределение глубин, в условиях трансгрессии область дна, подверженная ледово-экзарационному воздействию заметно расширяется. В условиях регрессии, напротив, резко сокращается.

Первым, кто обратил внимание на «следы деятельности подвижных льдов» на поверхности дна Северного Каспия и опубликовал пионерную статью на эту тему,

был Б.И. Кошечкин [4]. При производстве аэрогеологических работ с применением материалов аэрофотосъемки и аэровизуальных наблюдений в пределах восточного побережья Каспийского моря он обратил внимание на специфический рисунок поверхности морского дна. Этот рисунок представляет собой на первый взгляд лишённые всякой закономерности, взаимно пересекающиеся борозды и шрамы светлого тона на фоне более темной поверхности дна. Иногда отмечаются и целые серии таких борозд, строго параллельных друг другу и имеющих в плане вид «гребенки». Как правило, этот рисунок приурочен к мелководным участкам акватории, которые в зимнее время покрываются льдом. Наиболее характерно и четко он выражен в пределах мелководной зоны Мангышлакского залива, вплоть до глубин, ограниченных 3-метровой изобатой [4]. Некоторые борозды представляют собой кривые или ломаные линии, что говорит о постепенном или резком изменении направления дрейфа льда. Борозды оканчиваются валами, образованными из выпаханного донного грунта. Высота некоторых таких валов превышает глубину моря, и они выходят на дневную поверхность в виде небольших эфемерных островов. Такие острова обычно разрушаются после первого весеннего шторма.

Анализ распределения основных направлений шрамов и сопоставление этих направлений с направлением преобладающих ветров показал, что движение масс нагроможденного льда подчиняется господствующим ветрам и возбуждаемым ими течениям. При прочих равных условиях наибольшая интенсивность и глубина эскарации дна приурочены к области дрейфующих льдов, тяготеющей к кромке припая, где в течение всего холодного сезона происходит торошения и вдоль которой осуществляется дрейф ледяных полей с вмержшими в них, и достигающими дна торосистыми образованиями. Вмерзнув в дрейфующие ледяные поля, и обладающие огромной массой, они создают наиболее глубокие и протяженные борозды выпахивания, которые могут представлять серьезную угрозу подводным трубопроводам (рис. 1). Результаты обработки данных гидролокатора бокового обзора и эхограмм показали наличие четко выраженных в рельефе дна, в том числе и на глубоководном участке (глубина до 12 м), борозд и систем борозд выпахивания, образованных дрейфующими одно- и многокилевыми торосистыми образованиями, вмержшими в ледяные поля. Всего на трассе трубопровода было идентифицировано 238 борозд и систем.

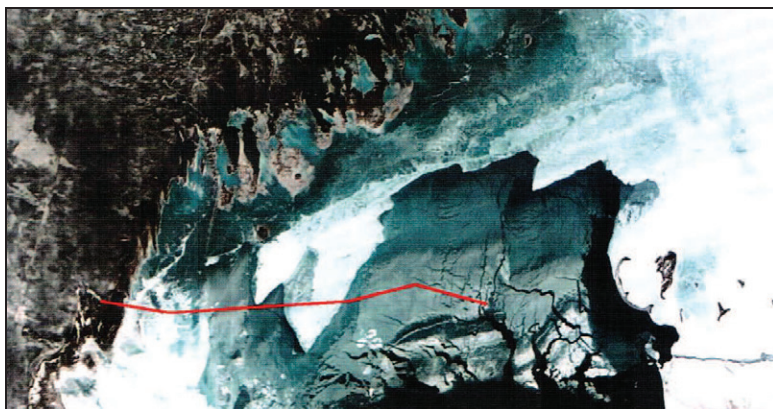


Рис. 1. Планируемая трасса трубопровода по дну Северного Каспия.

Длина наиболее крупных и четко выраженных из обнаруженных борозд, по-видимому (большинство борозд пересекают съёмочный полигон и неизвестно где заканчиваются), превышает первые километры; ширина единичных борозд – до 5 м, систем борозд – до 200 м; точную глубину борозд, вследствие постоянного волнения установить не удалось, но, судя по данным гидролокатора бокового обзора и эхограммам, она составляет до 1 м. Помимо линейных форм также были обнаружены локальные ямы, оставшиеся от стамух, сидящих на дне. Таким образом, на Северном Каспии впервые были инструментально зафиксированы формы ледовой экзарации на глубинах до 12 м. Вместе с тем, вопросы определения предельной глубины моря, где возможно выплывание дна ледяными торосистыми образованиями, также как и глубины их внедрения в грунт для Каспия остаются открытыми [5].

Азовское море. Для Азовского моря, не смотря на то, что его климатические условия, в целом, менее суровые, чем в Северном Каспии, характерна сложная и изменчивая ледовая обстановка. Это вызвано, в первую очередь, рядом морфологических особенностей, способствующих образованию льда: мелководностью моря, низкой соленостью вод и изрезанностью берегов. На эти факторы накладывается частая смена атмосферных процессов в холодное время года, приводящая к изменению площади льда в море, а также значительная повторяемость ветров восточной четверти, следствием чего является сплочение дрейфующих льдов в виде торосов и наслоений вдоль западного и юго-западного побережий моря. В январе, на первой стадии формирования ледяного покрова, прослеживается широтный фактор. В этот период наиболее сложная ледовая обстановка, как правило, отмечается на севере моря. Сплоченность плавучих льдов составляет 8-10 баллов. В южной части моря в первой декаде января лед практически отсутствует, к концу месяца появляется разреженный лед, сплоченность которого обычно не превышает 7 баллов. В феврале ледовая обстановка на море наиболее сложная. Вся северная, западная часть моря и Таганрогский залив покрыты припаем или обширными ледяными полями белого льда сплоченностью 9-10 баллов. Меньше всего льда в открытых частях юго-восточной части моря (густота 6-8 баллов, вероятность встречи припая не превышает 50%). Такое распределение льда в феврале вызвано тем, что под действием сильных и продолжительных ветров западного и северо-восточного румбов лед взламывается, отрывается от берега и наплаивается у противоположного берега. Сгонные ветры отжимают лед от берега, вызывают его разрежение и образование полыней. При сильных сгонах, когда уровень моря понижается, в неподвижном льду образуются трещины. Северо-восточные и восточные ветры относятся к числу устойчивых и сохраняются иногда в течение 10-13 суток.

Полное замерзание моря наблюдается в суровые зимы (но далеко не каждую) и длится, как правило, менее двух недель. Разрушение припая начинается во второй половине марта и к началу апреля в море наблюдаются только плавучие формы льда. Окончательное очищение моря ото льда происходит к концу апреля, реже в начале мая, что примерно на месяц позже, чем в умеренные и мягкие зимы. На мелководных участках южной части Азовского моря зимой наблюдаются ледяные образования в виде беспорядочного нагромождения обломков льда. Их возникновение, форма и размеры обусловлены глубиной, рельефом дна, интенсивностью дрейфа льда, наличием сгонно-нагонных явлений, а самое главное – скоростью и направлением ветра. Наибольшая торосистость, а также

максимальное число ледяных торосов и барьеров, наблюдается в юго-западной части моря, в т.ч. в районе предполагаемых работ. Значительная изрезанность береговой линии, многократное вскрытие и замерзание приводит к увеличению торосистости льдов вдоль берега моря. В районе проектируемых работ в умеренные зимы торосистость льда составляет примерно 1-2 балла, в суровые зимы она достигает 3-5 баллов, местами появляются бугры (стамухи) и барьеры торосов. Обычно высота торосов составляет 1,0-1,5 м, иногда может достигать 2 м (январь 1957г). В суровые, а иногда и умеренные зимы, стамухи образуются на расстоянии 5-6 миль (10 км) от берега. В умеренные зимы их высота в этом районе составляет 5-8 м, в суровые их высота может достигать высоты 10-14 м. На прибрежных косах и отмелях открытого моря преобладают торосистые нагромождения высотой 4-6 м, иногда до 8 м (рис. 2).



Рис. 2. Нагромождения льда в береговой зоне Азовского моря.

В XXI веке продолжительность замерзания Азовского моря и Северного Каспия достигала 50–70 дней. Стали возникать торосы и стамухи. Ледовая обстановка на два месяца парализовала судоходство [6].

Аральское море. В мире хорошо известно о так называемой Аральской катастрофе. В результате использования стока двух центральноазиатских рек - Амударьи и Сырдарьи для орошения, а также других видов водопотребления из этих источников и воздействия на них, в конце концов, эти водотоки перестали достигать дельты в месте впадения в Аральское море. В результате площадь акватории Аральского моря стала быстро сокращаться. Аральское море лежит в южной зоне, но и на нем ежегодно образуется лед. Обычно льдообразование начинается в прибрежных районах на севере и северо-востоке моря примерно во второй декаде ноября. К концу этого месяца первичные формы льда появляются у южных берегов. В открытом море льды наблюдаются со второй декады декабря, а

у западного побережья лед образуется в среднем в первой декаде января. Наибольшего развития ледяной покров достигает в середине февраля. Прибрежную зону моря покрывает припай, а в открытых районах распространены дрейфующие льды, представленные мелко- и крупнобитым льдом и ледяными полями. Весеннее разрушение льда обычно начинается во второй половине февраля на юге и в первой половине марта на севере. Однако при холодной весне на отдельных участках северного и восточного побережий припай может сохраняться до 20—25 апреля. Обычно же таяние льда идет интенсивно. К середине марта ледовитость сокращается на 25%, а в конце апреля море полностью освобождается ото льда. В среднем льды в Аральском море держатся 4—5 месяцев, но иногда встречаются в течение полугода. Наиболее короткое время льды существуют в западной глубокой части моря.

Знаки (линии) Аральского моря на дне высыхающего морского дна в 1990 году впервые были выявлены Б.А. Смердовым. «Выявленные контуры представляют собой разнообразные фигуры, состоящие из одиночных или нескольких параллельных линий необычной формы. Они очень похожи на полосы, рытвины и борозды шириной от 2-5 до 20-50 метров и длиной до 100 километров, сопровождающиеся отвалами грунта по бокам, напоминающая следы от бульдозера. С одной стороны, эти линии имеют ровные входы, а, с другой своей стороны, на выходе, заканчиваются лежащими поперёк «жгутами» из перепутанных стеблей и корневищ водных растений с вкраплениями небольших ракушек. Подобные контуры, действительно, могли образовываться в процессе движения или волочения каких-то больших предметов по песчано-илистому грунту дна Аральского моря, аналогичных линиям, обнаруженным на дне Каспийского моря в северной его части» [7]. При проведении глубинных геолого-съёмочных работ на Южном Прибалхашье, в районе известного городища Карамерген, в склонах песчаных барханов на высотах 10-15 метров были обнаружены большие глыбы каменных пород размером от 2-х до 3-х метров и более. Такими породами сложены скалистые и каменные берега северной части оз. Балхаш и его островов. Как уже отмечалось выше, в XII-XIII вв. на современной территории Казахстана происходило глобальное потепление, приведшее в середине XIII в. к таянию ледников в горах Джунгарского Алатау, Тянь-Шаня и поднятию уровня воды в Балхаш-Алакольской впадине до 40 и более метров. Северный берег озера Балхаш с его скалистыми каменными берегами оказался затопленным. Здесь образовались многочисленные острова с валунами, плитами и разнообразной формы каменными глыбами. В итоге, все существующие в то время озера, такие как Балхаш, Сасыкколь и Алаколь, были единым водоемом. Под водой оказалась практически вся Балхаш-Алакольская низменность с городищами (в том числе и Карамерген), земледельческими поселениями и полями вокруг них, расположенными в долинах рек Или, Каратал, Аксу, Лепсы. С XIV в. наступает период суровых зим, в результате чего поверхность Балхаш-Алакольского водоема неоднократно покрывается льдами толщиной до 1 м, захватывая и обволакивая тем самым, все скальные выходы берегов и вновь образованных островов с валунами и глыбами. С наступлением весеннего тепла уровень воды в водоеме повышался и льдины с захваченными валунами и глыбами скальных пород под воздействием северо-восточного ветра, а также течений начинали перемещаться по поверхности водоема в сторону Южного Прибалхашья. Потом они зависали на барханах и при дальнейшем потеплении начинали таять, оставляя на них валуны и глыбы скальных пород. Аналогичная ситуация возникла на Аральском и Каспийском морях, а также прилегающей к ним Торгайской ложбине, когда в процессе завершения глобального потепления в середине XIII в.,

уровень воды в них поднялся до 10 и более метров, объединив их на какое-то время в единый водоем. В те времена существовали на площадях прибрежной зоны этих морей многочисленные возвышенности и уступы, со скальными образованиями и глыбами пород, которые в период подъема воды в морях превратились в острова и полуострова. С наступлением малого ледникового периода с суровыми и холодными зимами, поверхность Аральского и северной части Каспийского морей в зимние периоды покрывалась льдом, толщиной до 1 м. Жизнь этих ледяных полей на Аральском море была, правда, недолговечной из-за сильных ветров и течений. Максимальная скорость ветров в период весенних штормов, достигала 30 и более м/с. Наиболее интенсивное и длительное их проявление наблюдателями отмечалось на западном побережье моря, с доминирующим северо-восточным вектором. Под воздействием ветров и стоковых течений рек Амударья и Сырдарья, дрейфующие ледяные поля взаимодействовали с дном, островами и полуостровами, что приводило к неравномерному дрейфу льдин. Дрейф сопровождался деформациями, подвижками и торошением ледяных полей, с образованием трещин, разводей и торосов. При малой глубине водоемов, подошвы гряд торосов доставали дна грунта и при дрейфе льдин с торосами, особенно во время весенних штормов, пропахивали на дне борозды. Наиболее интенсивное их накопление происходило в районах островов и полуостровов, тормозивших движение льдин. Они разламывались, образуя гряды торосов, которые затем превращались в неподвижные, севшие на грунт ледяные торосы - стамухи. Такие передвижения льдин с торосами повторялись неоднократно на протяжении многих десятков лет, а может и столетий, оставляя в итоге после себя на дне моря, многочисленные поля борозд. Ледово-эскарпационные формы рельефа можно встретить и на суше. Такие формы рельефа обнаружены при анализе космических и аэрофотоснимков на бывшем дне северо-восточного побережья Аральского моря (рис. 4). Эти формы рельефа и были обнаружены и описаны Б.А. Смердовым «...с входящими и выходящими бороздами, заканчивающиеся лежащими поперек жгутами из скатанных водорослей и мелких ракушек» [7]. В своей статье «Одна из версий происхождения торгайских и аральских геоглифов в Казахстане» И.В. Стасив дает детальное описание этих линий «знаков» Аральского моря, и делает вывод о природном их происхождении [8].

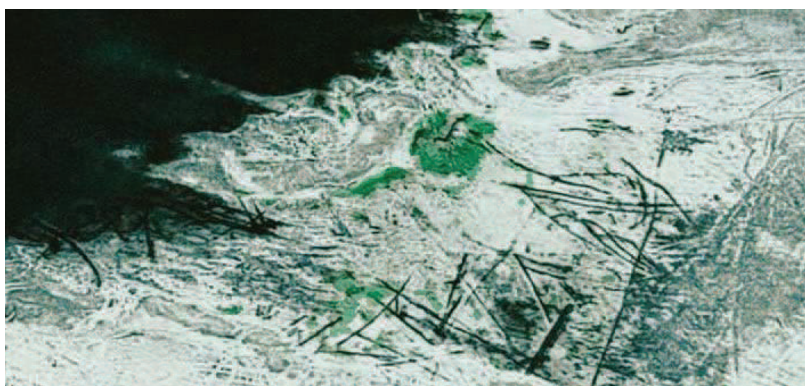


Рис. 4. Борозды ледового выпаживания на космическом снимке побережья Аральского моря, масштаб изображения - 4х6 км (Scanex).

Озеро Балхаш. Озеро Балхаш имело разные названия: Си-Хай - «Западное море» - у китайцев, Ак-Денгиз - «Белое море» - у тюрков и монголов, Тенгиз - «Море» - у казахов. Под названием Балхаш озеро нанесено на карту Ю. Клапорта в 1833 году. Топоним обозначает «болотистая местность», или «болото с кочками». Расположено озеро в засушливом регионе. К северу от озера раскинулись хребты Казахского мелкосопочника, к югу – пески Сарыесик-Атырау, Таукум и Чу-Илийские горы. Главные реки, которые питают Балхаш – Или, Аягуз, Лепсы, Каратал и Аксу. Природная уникальность озера заключена в разных показателях солёности Балхаша в западной и восточной частях акватории. Узкий пролив у полуострова Сарыесик разделяет Балхаш на две части, пресную западную часть и солоноватую восточную (рис. 4).

В зимние месяцы озеро покрыто льдом. Происхождение Балхаша связано с таянием древних ледников. Во время последнего ледникового периода общая площадь соединенных тогда вместе озер Балхаш и Алаколь достигала 102 тыс. км². В те времена озера имели глубину от 100 до 200 м. После окончания ледникового периода, когда льды отошли высоко в горы, озера оказались разделены и постепенно начали высыхать и уменьшаться. В те же времена вода начала становиться соленой. Четкое разделение озера на две части вполне естественно, ширина пролива Узун-Арал, отделяющего мелководный и пресный запад и соленый глубоководный восток, составляет всего три километра, что очень мало по сравнению с общей шириной озера. Четыре пятых всего объема воды поступает в Балхаш из реки Или, впадающей в западную часть. Несколько небольших рек обеспечивают приток пресной воды, правда недостаточный, и в восточную часть. Среди них реки Аксу, Каратал, Лепсы и несколько других. Уровень воды в оз. Балхаш подчиняется долгосрочным и краткосрочным колебаниям. Минимальный уровень воды, на 12-14 метров ниже нынешнего наблюдался в период с пятого по десятый века, а максимальный с тринадцатого по восемнадцатый. Краткосрочные колебания, зафиксированные в наблюдениях, отмечались в 1958-1969 годах, когда площадь озера достигала 18 тыс. км². В засушливые годы, какими были 1990-е и 1930-е уровень воды снижался на три метра, а площадь уменьшалась до 16 тыс. км². Озеро Балхаш обладает весьма извилистой береговой линией с большим количеством заливов и бухт. На озере очень мало островов, наиболее крупные из них Тасарал и Басарал. Нежаркое лето со средней температурой в июле около плюс 24°С и холодная зима – в январе средняя температура равняется минус 8°С. За год в районе озера выпадает около 120 миллиметров осадков.



Рис.4. Озеро Балхаш. Космический снимок.

Каждую зиму Балхаш полностью замерзает, озеро находится под слоем льда с ноября по март-апрель. Толщина льда может достигать 70 см, ледовый период составляет 120-140 дней. Весной, под воздействием тепла, ветра и течений лед начинает взламываться и дрейфовать. Образуются торосы, которые на мелководных участках начинают взаимодействовать с грунтом, и часто наползают на берег, образуя нагромождения торосов высотой до 3 метров и более.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования экзарации дна и берегов ледяными образованиями замерзающих мелководных водоёмов юга Евразии находятся в зачаточном состоянии. Игнорирование этого вопроса нефтегазовыми компаниями, позиция которых в значительной мере была усилена разговорами о глобальном потеплении и грядущей полным исчезновением ледяного покрова на этих водоемах, привело к тому, что большинство проектов реализовано без должного учета ледовых воздействий на дно и подводные сооружения. Так, практически все подводные трубопроводы на Северном Каспии не заглублены в грунт. В результате чего стала возможной авария на нефтепромысле «Кашаган» в Казахском секторе Северного Каспия, где льдом были повреждены четыре нитки трубопровода, проложенного по дну без заглубления. К настоящему моменту вопрос об интенсивности воздействий на дно Северного Каспия остается открытым и требует дальнейших исследований. Сложность решаемых проблем с одной стороны определяется слабой изученностью процессов взаимодействия ледяного покрова с грунтовым основанием дна, с другой – многогранностью решаемых задач в связи с чрезвычайно высокой изменчивостью положения уровня и ледовитости замерзающих мелководных водоёмов юга Евразии. Для достоверного определения требуемых науке и практике характеристик и детального понимания, рассмотренной в докладе проблемы, необходимо системное и упорядоченное исследование процессов экзарации дна и берегов

этих водоемов. Настоящее исследование является лишь первым шагом на пути к решению поставленных задач. Климатические и антропогенные изменения любого порядка могут приводить к кардинальной перестройке природной среды и менять условия формирования и сохранности ледово-экзарационного рельефа на дне замерзающих морей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарицин П.И. Гидрологические процессы в Северном Каспии в зимний период // Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук в форме научного доклада. М, 1996, 61с.
2. Бухарицин П.И. Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы, №6, 1984, с. 115-123.
3. Бухарицин П.И. Некоторые черты процессов торошения льда Северного Каспия в условиях катастрофического падения уровня моря в 30-е годы 20-го столетия. // Межведомственный сборник Гидрология южных морей (Каспийское море). Выпуск 3-4 (под редакцией д.г.н. Бухарицина П.И.). Астрахань, издательство КаспНИРХ, 2007. С. 64-68.
4. Кошечкин Б.И. Следы деятельности подвижных льдов на поверхности дна мелководных участков Северного Каспия // Труды Лаборатории аэрометодов АН СССР, Том 6. М., Л. 1958. С. 227-234.
5. Бухарицин П.И., Огородов С.А., Архипов В.В. Воздействие ледяных образований на дно Северного Каспия в условиях колебаний уровня и ледовитости // Вестник Московского университета. Серия 5. География, №2, 2015 (март-апрель). Издательство Московского университета, 2015. С.101-108.
6. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргопа Ю.М., Дашкевич Л.В. Замерзание Азовского моря и климат в начале XXI века // Вестник южного научного центра РАН Том 6, № 1, 2010, С. 33–40.
7. Смердов Б.А. Следы на дне Аральского моря [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.centrasia.ru/newsA.php?st=1044074220> (дата обращения: 23.02.2015).
8. Стасив И.В. Одна из версий происхождения торгайских и аральских геоглифов в Казахстане, а также о выявленных новых геоглифах на южном берегу озера Балхаш // Scientific Research in the 21st Century. Moscow, Russia, 2015, С.105-120.

ВЛИЯНИЕ СОЛЯНЫХ КУПОЛОВ НА ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЬДА В СЕВЕРНОМ КАСПИИ¹⁰

В течение многих лет при выполнении ледовых авиационных разведок, в самый разгар зимы, океанологи-наблюдатели неоднократно отмечали наличие полыней в мелководных районах Северного Каспия, где по их расчетам должен быть толстый неподвижный лед. Попытки объяснить их наличием только динамических факторов (течениями, дрейфом льда) не давали результата.

Спутниковая ледовая информация. В связи с развитием космической техники в 70-е годы прошлого века были разработаны принципиально новые, перспективные методы изучения гидрологического режима морей и океанов, в том числе и ледовых процессов. Этому способствовало создание сети автономных пунктов приема спутниковой информации (АППИ). В 1975 г. такой пункт был создан в Астрахани на базе Астраханской зональной гидрометеорологической станции (АЗГМС). Зимой 1976 г., впервые на Каспийском море, телевизионные снимки ледяного покрова были использованы для уточнения данных о положении границ и кромок льда, полученных при выполнении ледовых авиаразведок. При дешифрировании телевизионных снимков ИСЗ и картировании ледовой обстановки использовался простой графо-оптический метод. Информативность и точность полученных ледовых карт удалось значительно повысить путем выполнения синхронных съемок. Сравнительная оценка точности ледовых карт, полученных по снимкам ИСЗ "Метеор", "NOAA" и др., с картами синхронно выполненными ледовых авиаразведок показала удовлетворительное совпадение границ припая, кромок сплоченного дрейфующего льда, а также размеров и положения заприпайных полыней, равную в среднем 3-5 миль, причем на получение и обработку спутниковой информации требовалось минимальное время (20-30 минут), что значительно повысило оперативность и качество ледовых карт. Это позволило использовать спутниковую информацию в качестве основы в предполетной подготовке ледовых разведчиков, при согласовании маршрутов очередных ледовых разведок с экипажами самолетов, при корректировке и уточнении ледовой обстановки по тем районам моря, где авиаразведка льда по тем или иным причинам не производилась, а также для оперативного обеспечения морских отраслей народного хозяйства и в научных целях (Бухарицин, 1983, 1984, 1987).

Благодаря спутниковой информации удалось проследить процесс образования, развития и исчезновения одного из важных и изменчивых элементов зимнего гидрологического режима Северного Каспия - заприпайных полыней. Ледовые авиаразведки такой возможности не давали ввиду недостаточной частоты наблюдений и полноты данных.

Места возникновения полыней и процессы их развития определяются скоростью, направлением и продолжительностью действия ветра, а также скоростью и направлением подледных течений. С помощью данных ИСЗ было установлено, что на Северном Каспии, при устойчивых и сильных отжимных ветрах, между припаем и дрейфующим льдом образуются полыни шириной от сотен метров до 10 миль и более и протяженностью иногда до 100 миль и более.

¹⁰ Salt domes influence on ice formation processes In the north Caspian sea / Buharitsin P.I. // *Материалы of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Frctic Conditions POAC, 2017. Busan, Korea, June 11-16, 2017. (электронный вариант, на флэш-карте). – P.1-11.*

Образованию таких гигантских полыней способствуют поверхностные дрейфовые течения, возникающие под действием ветра на свободной ото льда поверхности моря. При смене ветра ледовая обстановка может очень быстро измениться. Дрейфующие льды закрывают существующие полыньи, а с наветренной стороны в это же время образуются новые.

Нанесенные на сводную карту обширные заприпайные полыньи, зафиксированные с помощью ИСЗ в течение 1980-90 гг. позволили определить районы Северного Каспия с устойчивым припаем, т.е. районы моря, где неподвижный лед сохраняется в течение всего ледового периода с момента образования до весеннего взлома.

Было установлено, что в период формирования ледяного покрова смещение границ припая к югу происходит не постепенно, как считалось ранее, а скачкообразно, на десятки миль сразу, по мере сплочения дрейфующего льда под воздействием ветра и его последующего смерзания. Границы между более старым и молодым припаем часто бывают четко обозначены многокилометровыми грядами торосистого льда, подобных тем, какие образуются на дрейфоразделах арктических морей. Они хорошо видны на спутниковых фотографиях и легко дешифрируются. Благодаря авиационным и спутниковым данным удалось проследить изо дня в день последовательные изменения в распределении льдов на всей акватории Северного Каспия, чего не мог дать ни один из существующих ранее традиционных методов. Благодаря этому была выявлена связь возникновения, расположения и динамики разводий и заприпайных полыней с направлением, скоростью и продолжительностью действия ветра. Прослежена последовательность процессов весеннего взлома припая.

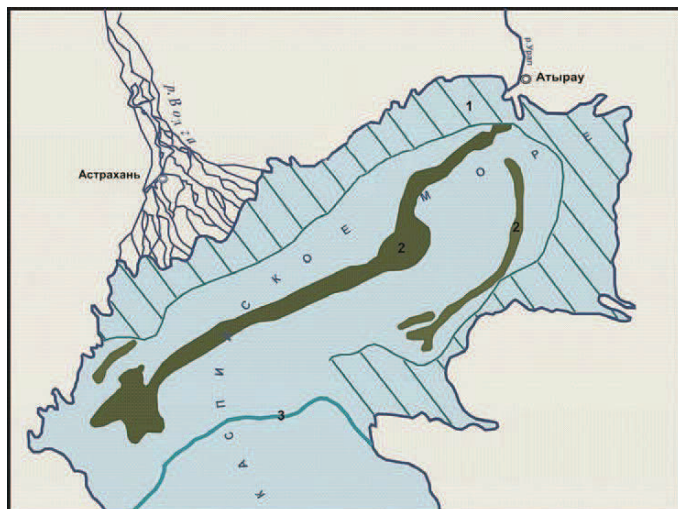


Рис. 1. Ледяной покров на Северном Каспии.
1 - зона устойчивого припая;
2 – полыньи.

Места возникновения полыней и процессы их развития определяются направлением, скоростью и продолжительностью действия ветра на поверхность дрейфующих льдов. При смене направления ветра ледовая обстановка очень быстро изменяется. Существующие полыньи закрываются сплоченным дрейфующим льдом, а новые полыньи образуются в других местах.

Таким образом, с появлением метеорологических искусственных спутников Земли (ИСЗ) количество информации о состоянии ледяного покрова значительно возросло. Анализ накопленных авиационных и космических данных позволил сделать вывод о том, что некоторые полыньи образуются ежегодно в одних и тех же местах.

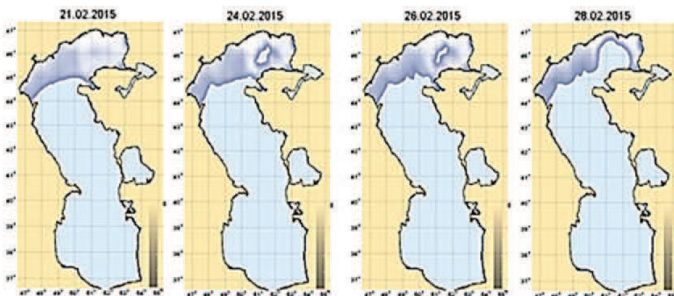


Рис. 2. Динамика полыней в ледяном покрове Северного Каспия.

Брусилковский С.А. (1986) высказал предположение о взаимосвязи расположения полыней с наличием соляных куполов на акватории Северного Каспия. Позже (2010) им был представлен обзор работ в области морской гидрогеологии, дисциплины, впервые сформировавшейся как научное направление, на геологическом факультете МГУ.

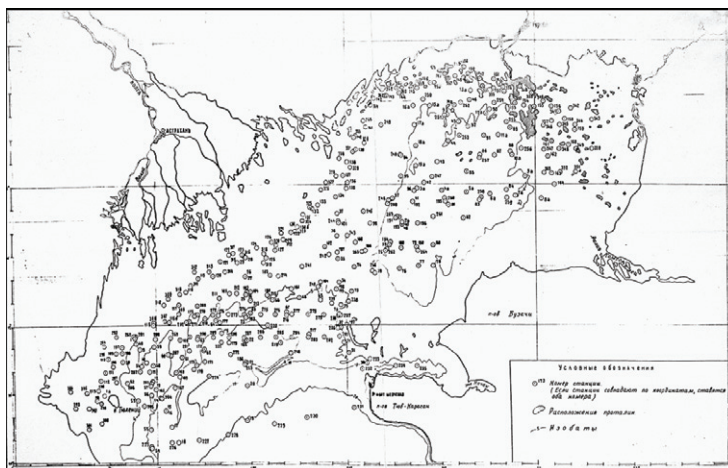


Рис. 3. Схема соляных куполов Северного Каспия (по Брусилковскому С.А., 1978).

Проведенный анализ многолетних данных подтверждает предположение Брусиловского - положение стационарных полыней практически совпадает с местами выхода соляных куполов на дне Северного Каспия (рис.). Каспийские воды растворяют вершины соляных куполов, происходит локальный рост солености воды, что в холодный период года приводит к замедлению процессов образования льда над соляными куполами. В результате образуются полыни. Летом обнаружить локальные очаги повышенной солености воды затруднительно, вследствие воздействия волн и течений.

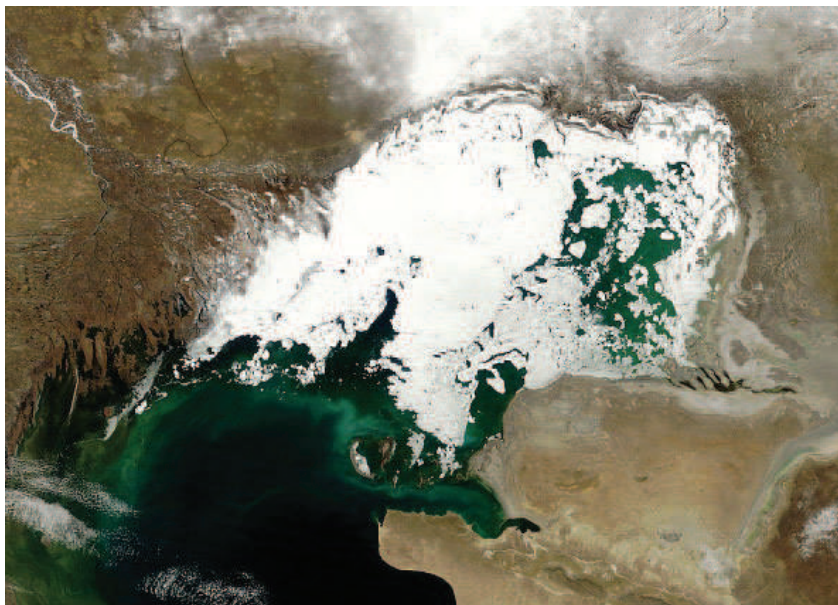


Рис. 4. Полыни в ледяном покрове Северного Каспия
(фото взято из интернета df67c592).



Рис. 5. Схема нефтяных и газовых месторождений Каспийского моря (из интернета).

ЛИТЕРАТУРА

1. Стационарные полыньи в ледяном покрове Северного Каспия / П.И. Бухарицин // Тезисы докладов итоговой научной конференции АГПИ им. Кирова. - Астрахань, 1994. - вып. 4. - С. 73.
2. Брусиловский С.А., Исследования в области морской гидрогеологии на кафедре гидрогеологии МГУ // Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования, Москва, 13, 2010, стр. 485-490.
3. Использование данных ИСЗ в изучении ледового режима Северного Каспия: Рационализаторское предложение №54(1439) от 01.08.1980г., принято к использованию Северо-Кавказским УГКС 26.06.1981 г. / П.И. Бухарицин // - Астрахань, 1981.

4. Использование телевизионных снимков ИСЗ " Метеор " для изучения ледовой обстановки на Северном Каспии / П.И. Бухарицин // Труды ГМЦ СССР. - М., 1983. - Вып. 255. - С. 70-75.
5. Опыт использования данных ИСЗ при изучении ледяного покрова: Информационное письмо СК УГКС / П.И. Бухарицин - Ростов-на-Дону, 1987. - № 4 (12). - С. 19-23.
6. Метод краткосрочного прогноза положения кромки сплоченных льдов на Северном Каспии / П.И. Бухарицин, М.Ф. Васянин, Л.А. Калиниченко // Метеорология и гидрология. - 1992. - № 4. - С. 74-81.
7. Гидрологические процессы в Северном Каспии в зимний период : дис. доктора геогр. наук в форме научного доклада / П.И. Бухарицин. - М, 1996. - 61с.
8. Исследования морских льдов в целях обеспечения нефтеразведочных работ на шельфе Северного Каспия / П.И. Бухарицин, Е.Н. Лабунская // ISBN 5-89154-086-X. Вестник АГТУ. Экология: науч. журнал. - Астрахань, 2002. - С. 33-39.
9. Многолетняя изменчивость характеристик термического и ледового режима низовьев Волги и Северного Каспия / П.И. Бухарицин // Материалы Международной научно-практической конференции «Мелиорация малых водотоков, нерестилиц дельты р. Волги и Волго-Ахтубинской поймы». - Астрахань, 2005. - С. 278-283.
10. Работа над созданием макета электронного атласа ледовых явлений и образований низовьев Волги и Северного Каспия / П.И. Бухарицин // ББК 95:2. Ю19. Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. - 2006. - № 1 (14). - С. 219-224.

ВНУТРИВОДНЫЙ ЛЕД НА СЕВЕРНОМ КАСПИИ ¹¹

АБСТРАКТ

Начало планомерному изучению ледовых процессов в северной части Каспийского моря было положено в начале 30-х годов прошлого века. По материалам этих наблюдений были впервые показаны средние границы ледяного покрова за каждый зимний месяц, получены уникальные материалы по толщинам, дрейфу льда и торосистости. Впервые на Каспии были изучены химические свойства и прочностные характеристики льда, исследованы характеристики подледной воды. В последующие годы изучение льдов продолжалось нарастающими темпами. Однако до настоящего времени один из очень важных типов ледяного покрова – внутриводный лёд, незаслуженно оставалась вне поля зрения исследователей. Данная работа является одной из первых, в которой делается попытка описать процесс образования и оценить роль внутриводного льда в формировании ледяного покрова Северного Каспия.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение ледяного покрова замерзающих морей России приобретает в настоящее время все возрастающее значение, как в научных, так и в практических целях. Ледяной покров препятствует судоходству, в значительной степени затрудняет освоение природных ресурсов и строительство гидротехнических сооружений, добычу морепродуктов и др. Вместе с тем лед может служить причалом, взлетно-посадочной площадкой или даже временной защитной дамбой. Разработка режимных и справочных пособий, а также совершенствование существующих и создание новых методов прогнозов природных процессов и явлений не представляется возможным без учета влияния ледяного покрова.

Одной из самых важных характеристик ледяного покрова является толщина ровного льда термического нарастания. Процессы естественного (термического) нарастания льда, еще в 30-е годы XX столетия, были подробно исследованы Н.Н. Зубовым. Предложенная им оценка суровости зим по «сумме градусо-дней мороза» вошла в сотни региональных расчетных формул, позволяющих с достаточной точностью вычислять максимально возможную толщину ровного льда. В различных модификациях эта формула до сих пор широко используется в оперативной практике [1].

Наблюдать процесс термического нарастания толщины льда довольно трудно. Как правило, на практике используется лишь конечный результат – инструментально измеренная толщина льда. Еще труднее оценить вклад внутриводного льда в общую толщину льда, поскольку процессы термического нарастания льда и образование внутриводного льда происходят одновременно.

На ледовых же картах, как правило, изображается не толщина, а возраст льда. Возрастные стадии льда отображаются соответствующими символами.

¹¹ Buharicin P.I., Buharicin A.P. // The Bottom Ice in the Northern Caspian Sea.. Материалы 24th IAHR International Symposium on Ice Vladivostok, Russia, June 4–9, 2018 (электронный вариант, на флэш-карте). – С.111-117.

ФЕНОМЕН

Образование внутриводного льда в арктических морях исследовано Н.Н. Зубовым, В.Д. Грищенко, И.Г. Петровым и многими другими авторами. Однако физика самого явления и, главное, аналитическая форма его описания, которая позволяет количественно оценить долю внутриводного льда в его суммарной толщине, были предложены Е.И. Монаховым лишь в 1989 году. В этой работе было показано, что на большей части арктических и антарктических морей содержание внутриводного льда в среднем составляет 5-10%, однако в локальных районах – разводах, полынях, прикромочных и устьевых зонах с выходом пресных вод, вклад внутриводного льда достигает 30-50% и даже 70-100% [2].

В течение зимы под воздействием ветра происходит многократный взлом припая, дрейф и подвижки льда, его торошение и образование обширных пространств чистой воды – полыней и разводий. Из-за смены направлений ветра разводья образуются в одном месте и закрываются в другом. Под воздействием ветрового волнения и отрицательных температур воздуха в полынях происходит перемешивание всей толщи воды от поверхности до дна и ее переохлаждение. Наличие в толще воды большого количества ядер кристаллизации (поднятого со дна ила и песка, мельчайших пузырьков газа) инициирует интенсивное образование внутриводного льда, который всплывает к поверхности полыни в виде шуги и впоследствии замерзает (рис. 1), образуя непрозрачный, матовый лед. В связи с тем, что всплывающая масса кристаллов внутриводного льда весьма пластична, то в процессе замерзания под воздействием ветра она часто образует характерную волнообразную поверхность (рис.2).

Scheme of formation of intra-water ice.

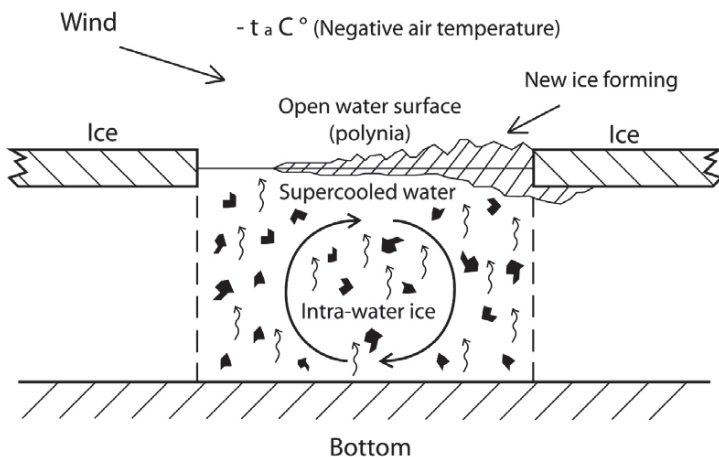


Рис. 1. Схема формирования внутриводного льда.

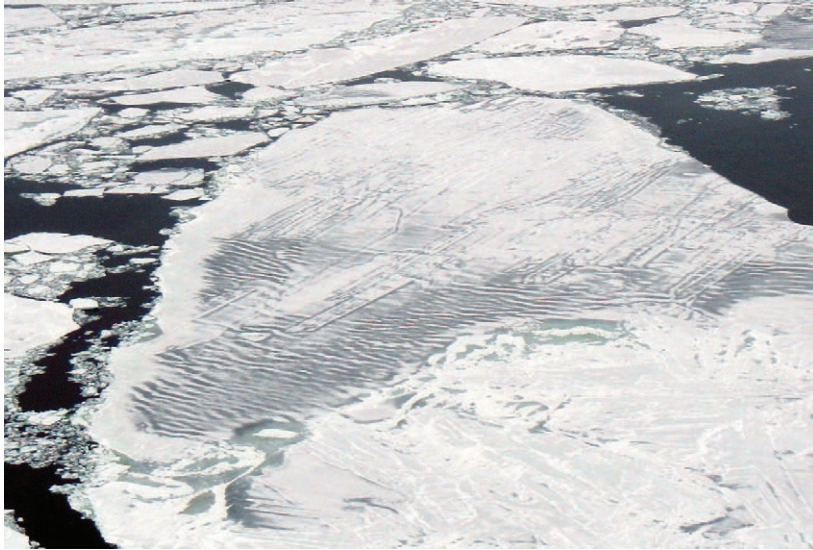


Рис. 2. Рифлёная (шифEROобразная) поверхность льда (фото автора).

Образовавшийся внутриводный лед также частично увлекается течением и всплывает уже за пределами полыньи, подо льдом. Всплывая, он намерзает на нижней поверхности ледяного покрова. При многократном повторении этих процессов образуется слоистый, пористый и непрозрачный лед. Его общая толщина может значительно превышать толщину термически выращенного окружающего льда. Поскольку эти процессы имеют локальный характер, ограниченный размерами конкретной полыньи, размеры и время существования которой постоянно изменяются, то и процессы нарастания льда происходят довольно хаотично.

В дальнейшем вступают в действие динамические факторы, которые приводят к образованию наслоенных льдов. Эти процессы также довольно хорошо изучены, разработаны методики прогнозирования толщины наслоенных льдов (Бухарицин, 1985, 1987, 1992 и др.). Однако и в этих работах роль внутриводного льда не рассматривалась.

СЛУЧАИ ФЕНОМЕНА В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Анализ архивных данных по Каспийскому морю более чем за 100 лет показал, что, несмотря на то, что изучению этого явления исследователи здесь практически не уделяли внимания, однако сам процесс образования внутриводного льда неоднократно фиксировался исследователями в частности в замерзающей мелководной северной части Каспия. Работы Ф.И. Валлера, П.И. Бухарицина, О.И. Шереметевской и др. было показано, что в процессе формирования и развития ледяного покрова в мелководной северной части Каспийского моря, в результате быстрой теплоотдачи, происходит образование ледяного покрова, толщина

которого под воздействием отрицательных температур воздуха увеличивается быстрее чем согласно формуле Зубова.

Следующие случаи указывают на это:

В марте 1953 г, при выполнении профильных ледовых наблюдений на устьевом взморье Волги, после значительного похолодания, сопровождаемого сильным ветром и снегопадом, наблюдался интенсивный подъем донного льда в полыньях и трещинах в виде непрозрачных, рыхлых кусочков льда сероватого цвета с приставшими раковинами и водорослями (из отчета).

В январе 2002 г, во время рейса на ледоколе «Капитан Букаев», при слабо отрицательной температуре воздуха, авторы наблюдали процесс образования внутриводного льда в переохлажденной воде устьевого взморья Волги в виде ледяных кристаллов, всплывающих к поверхности и образующих рыхлый слой первичных форм льда толщиной 2-5 см, состоящий из слабо смерзшихся ледяных кристаллов (из отчета).

Образование внутриводного льда зафиксировано одним из авторов в феврале 2016 года в центральной части Гурьевской бороздины (Северный Каспий) с помощью подводной видеокамеры.

Следует отметить, что подобные явления регулярно происходят на Нижней Волге, после ввода в строй Волжской ГЭС. Сохраняющаяся даже во время сильных морозов полынья ниже по течению от плотины является своеобразным генератором внутриводного льда, который в виде рыхлых кусочков увлекается течением под существующим ледовым покровом. Иногда живое сечение русла реки оказывается полностью забито шугой, что приводит к образованию зажоров.

ИЗМЕРЕНИЯ

Так, например, при одинаковых суммах градусо-дней мороза находящиеся в одном районе моря массивы льда могут почти в два раза отличаться по толщине (рис. 3).



Рис. 3. Образец однородного, непрозрачного, матового льда, образовавшегося из внутриводного, взятый в замёрзшей полынье (фото автора).

Результаты многочисленных инструментальных измерений толщины припайных и плавучих льдов в Северном Каспии выполненных авторами за период 2013-2017гг. показали, что минимальная толщина ровного, не слоенного льда составляла 45 см, а максимальная – 90 см, что так же косвенно подтверждает вклад внутриводного льда (рис. 4).

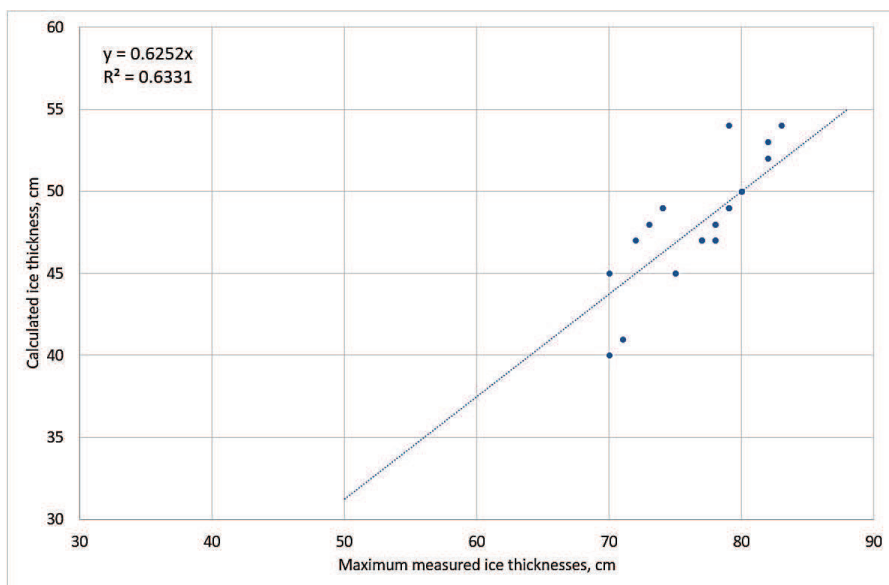


Рис. 4. Measured maximum ice thickness compared with calculated with FDD.

ПОЛЫНИ

Благодаря спутниковой информации ставшей доступной в последние годы удалось проследить процесс образования, развития и исчезновения одного из важных и изменчивых элементов зимнего гидрологического режима Северного Каспия - заприпайных разводий и полыней. Ледовые авиаразведки более ранних лет такой возможности не давали ввиду недостаточной частоты наблюдений и полноты данных.

Места возникновения полыней и процессы их развития определяются скоростью, направлением и продолжительностью действия ветра, а также скоростью и направлением подледных течений. С помощью данных ИСЗ было установлено, что на Северном Каспии, при устойчивых и сильных отжимных ветрах, между припаем и дрейфующим льдом образуются разводья шириной от сотен метров до 10 миль и более и протяженностью иногда до 100 миль и более. Образованию таких гигантских полыней способствуют поверхностные дрейфовые течения,

возникающие под действием ветра на свободной ото льда поверхности моря. При смене ветра ледовая обстановка может очень быстро измениться. Дрейфующие льды закрывают существующие полыньи, а с наветренной стороны в это же время образуются новые [3].

ВЫВОДЫ

В последующие годы изучение процессов образования внутриводного льда и его роли в формировании ледяного покрова северной части Каспийского моря будет продолжено.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Зубов Н.Н. Некоторые свойства морского льда // М.: Изд-во Гидромет. комитета СССР и РСФСР, 1932. 44 с.
- 2.Монахов Е.И. Условия формирования внутриводного льда // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. Л.: 1989. 23 с.
3. Buharicin.P.I. Influence salt dome on processes of the formation lida in North Caspian // Material of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Frctic Conditions POAC,2017. Busan, Korea, june 11-16, 2017. – p.1-11.
4. Buharicin.P.I., Ayazbayev E.Kh. Use of satellite data in mapping northern Caspian ice cover // Material 22nd IHR International Symposium on Ice, 11-15 August 2014, Singapore. – p.119-126.

**More
Books!** 



yes
I want morebooks!

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов!
Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".

Покупайте Ваши книги на
www.morebooks.de

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.morebooks.de

SIA OmniScriptum Publishing
Brivibas gatve 1 97
LV-103 9 Riga, Latvia
Telefax: +371 68620455

info@omniscrptum.com
www.omniscrptum.com

OMNIScriptum



