

УДК: 911.2

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ В ОБСКОЙ И ГЫДАНСКОЙ ГУБЕ НА СУЩЕСТВУЮЩИЕ В НИХ ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ЗИМНИХ МЕСЯЦЕВ

Холопцев А. В.¹, Подпорин С. А.², Курочкин Л. Е.³, Борисов К. И.⁴

¹Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация

*^{1,2,3,4}Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация
E-mail: georeolog@gmail.com*

Выявлены особенности статистических связей межгодовых изменений среднемесячных значений сплоченности и толщины ледяного покрова заливов Карского моря Обская и Гыданская губа, с вариациями уровней их водных поверхностей, которые характерны для месяцев с ноября по март. Полученные результаты свидетельствуют о возможности повышения точности моделирования динамики данных характеристик ледовых условий в указанных заливах за счет учета при его осуществлении взаимосвязи рассматриваемых процессов.

Ключевые слова: уровень, ледяной покров, сплоченность, средняя толщина, теплообмен, связь, Обская губа, Гыданская губа, зимние месяцы.

ВВЕДЕНИЕ

Сплоченность и толщина ледяного покрова (СЛП и СТЛ), встречающегося на водных путях в Мировом океане, во многом определяет безопасность и трафик осуществляемой на них навигации. Поэтому совершенствование технологий дистанционного мониторинга изменений этих характеристик для его судоходных районов является актуальной проблемой гидрографии, океанографии и безопасности судоходства.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для его мелководных районов, по которым проходят водные пути с повышенным трафиком движения судов.

Одним из таких районов, является залив Карского моря — Обская губа, навигация в котором осуществляется и в зимние месяцы.

Залив Обская губа является затопленным эстуарием реки Обь, и имеет протяженность более 800 км. Он расположен между полуостровами Ямал и Гыданский. В центральной части залива от него ответвляется к востоку Тазовская губа — затопленный эстуарий реки Таз.

Ледяной покров в заливе начинает формироваться в октябре и полностью исчезает в июле, тем не менее, в его северной части, где расположены порты Сабетта и Новый порт, а также Южно-Тамбейское месторождение природного газа и газо-конденсата, навигация осуществляется круглогодично.

В южной, наиболее мелководной части Обской губы, где навигацию в основном осуществляют суда типа река-море, как правило, не имеющие какого-либо ледового усиления, судоходство прекращается с ноября по июнь. Тем не менее, в последние годы вследствие потепления климата, сплоченный ледовый покров в южной части

Обской губы начинает формироваться все позже, что позволяет предполагать возможность завершения здесь навигации в ноябре и даже зимой.

К востоку от Обской губы расположен еще один мелководный залив Карского моря — Гыданская губа. Указанный залив находится у северного берега Гыданского полуострова, между полуостровами Явай и Мамонта. Его длина около 200 км. Залив представляет собой затопленный эстуарий реки Юрибой, который с октября по июль покрыт льдом. На Гыданском полуострове расположены Мессояхские месторождения природного газа, одно из которых, Восточномессояхское, уже введено в промышленную эксплуатацию. Залив Гыданская губа настолько мелководен, что водные пути по нему не проложены, однако рыболовство в нем осуществляется.

Учитывая протяженности рассматриваемых заливов Карского моря, губы, для осуществления мониторинга изучаемых характеристик существующих в них ледовых условий целесообразно применение технологий спутникового мониторинга. При таком мониторинге СЛП вполне эффективен пассивный радиометрический метод.

Упомянутый метод реализован на искусственных спутниках Земли (далее ИСЗ) серии DMSP (Defence Meteorological Satellite Program), где применены радиометры SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) и SSMI/S (Special Sensor Microwave Imager/Sounder). Это позволяет изучать изменения СЛП на всех участках акваторий обоих заливов с периодичностью единицы суток, что для практики вполне достаточно.

Существенно менее совершенна активная спутниковая технология измерения СЛП, которая предполагает осуществление лидарного зондирования ледяного покрова. Упомянутая технология основана на измерении времени запаздывания откликов, возникающих при взаимодействии зондирующего сигнала лидара с верхней и нижней границей ледяного покрова. Она осуществлена на ИСЗ (NASA) ICESat-1, 2 [3, 4].

ИСЗ ICESat-1 функционировал с 2004 г. по 2011 г. Высота его практически круговой орбиты составляла 373 мили. Поэтому диаметр участка ледяного покрова, для которого при том или ином зондировании определялось СЛП, равнялся 70м. Расстояние между соседними по треку зондируемыми участками составляло 170м. Цикл мониторинга осуществлялся за 8 суток, при расстоянии между соседними треками ИСЗ — десятки км.

ИСЗ ICESat-2 запущен 15.09. 2018 г. На нем функционирует топографический лазерный высотомер (ATLAS), который обеспечивает измерение СЛП одновременно по 6 лучам. Соседние участки ледяного покрова, которые зондируются одновременно, разнесены на 3,3 км. При последующих зондированиях, изучаются участки, которые смещены на 2,5 км. Расстояния между соседними треками над районами СМП составляют, как и ранее, десятки километров. Интервал дискретизации по времени спутниковой информации об СЛП некоторого участка изучаемой акватории несколько превышает неделю.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ В ОБСКОЙ И ГЫДАНСКОЙ ГУБЕ НА СУЩЕСТВУЮЩИЕ В НИХ ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ЗИМНИХ МЕСЯЦЕВ

Через заливы Обская и Гыданская губа проходят всего несколько треков рассматриваемых ИСЗ, в промежутках между которыми измерения СТЛ не проводятся.

Оценка значений СТЛ для каждых суток и для всех участков их акваторий осуществляется с применением математического моделирования. При его осуществлении используются модели семейства NEMO [5], которые верифицированы по результатам фактически выполненных измерений.

Как показало тестирование получаемых таким образом оценок СТЛ, их расхождения с результатами фактических измерений этого показателя на дрейфующих полярных станциях Росгидромета иногда могут быть весьма значительными [6]. Еще большими они могут быть для прибрежных районов морей, к которым относятся и рассматриваемые заливы. Следовательно, повышение точности подобных оценок позволило бы повысить безопасность судоходства и потому представляет немалый практический интерес.

Согласно существующим представлениям о факторах изменчивости СТЛ и СЛП морских акваторий, к числу основных относится теплообмен нижней части ледяного покрова с омывающими его водами [7]. В период, когда потоки солнечной радиации, поглощаемые надводной частью морских льдов, невелики, в особенности во время Полярной ночи, указанный фактор является главным.

В мелководных замерзающих эстуариях рек в зимние месяцы непосредственно подо льдом к морю сравнительно тонким слоем распространяются практически пресные речные воды. Под ними в залив, со стороны моря, в конце осени-начале зимы входят соленые и более теплые морские воды. Так как температуры поверхностного слоя вод арктических морей в течение зимы снижаются, к марту воды, входящие в заливы, становятся холоднее, чем воды, выходящие из них. Поэтому теплообмен ледяного покрова заливов с морскими водами способен его как согреть, так и охладить.

Расход придонных течений морских вод в заливах тем меньше, чем ниже уровни их водной поверхности. Чем меньше расход морских вод, проникающих вглубь того или иного залива, тем меньше интенсивность их теплообмена с ледяным покровом. Последнее позволяет предположить, что в месяцы с ноября по март значимым фактором межгодовых изменений среднемесячных значений СТЛ и СЛП как в Обской, так и в Гыданской губе могут являться вариации их уровня.

Несмотря на то, что теплообмен ледяных покровов изучаемых заливов, с входящими в них морскими водами, несомненно, в какой-то мере влияет на изменения его СТЛ и СЛП, справедливость выдвинутой гипотезы не очевидна, так как оба изучаемых процесса являются многофакторными. Определенное влияние на состояние ледяных покровов как Обской, так и Гыданской губы может оказывать их теплообмен не только с водой, но и атмосферным воздухом, температуры которого в Заполярье зимой, как правило, отрицательные. Вследствие влияния подобных факторов, отклики в изменениях СТЛ и СЛП рассматриваемых заливов, вызванные изменениями их уровней, значимыми могут не быть.

Информация об изменениях уровней водной поверхности различных участков акваторий Обской и Гыданской губы в период с января 1993 года поступает от

глобальной системы мониторинга этой характеристики, компонентами которой являются ИСЗ ERS-1/2, TOPEX/Poseidon, GFO-1, Jason-1, 2, 3, Envisat и др. [8, 9, 10].

Радиолокационные альтиметры упомянутых ИСЗ измеряют среднее расстояние от формирующей эхо-сигнал поверхности зондируемого участка ледяного покрова (или свободной водной поверхности), диаметром 700 м, до соответствующего участка поверхности геоида.

Результаты подобных измерений уровня различных участков поверхности Обской и Гыданской губы, которые поступают с периодичностью 9,9 суток, применяются для верификации упомянутых выше моделей семейства NEMO.

Полученные с помощью такого моделирования оценки СТЛ и СЛП и уровня всех участков акваторий обоих заливов, для каждого суток, начиная с 1.01.1993 г., представлены в реанализе GLORYS12.v1.[11], что позволяет выдвинутую гипотезу проверить.

Тем не менее, ранее подобная проверка не проводилась. Результаты мониторинга уровней каких-либо участков заливов Обская и Гыданская губа, при оценке характеристик их ледяных покровов, ныне не учитываются. Вследствие этого проверка выдвинутой гипотезы представляет теоретический и практический интерес для развития осенне-зимней навигации в районе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является проверка справедливости выдвинутой гипотезы. Для ее осуществления изучены статистические связи межгодовых изменений СТЛ и СЛП различных участков акваторий заливов Обская и Гыданская губа, с вариациями их уровней.

Как фактический материал об уровнях водной поверхности, а также СТЛ и СЛП в изучаемых заливах Карского моря, использованы результаты реанализа GLORYS12.v1.

Указанный источник содержит оценки СЛП на всех участках акваторий указанных заливов для каждого суток, начиная с 1.01.1993 г. по 31.12.2019 г. Они соответствуют узлам координатной сетки с шагом 5 угловых минут. Оценки СТЛ представлены в нем лишь для районов Обской губы, расположенных к северу от параллели 72°с.ш.

Методика исследования предполагала формирование из указанной информации временных рядов среднемесячных значений уровня, СЛП и СТЛ для каждого узла, расположенного на акватории того или иного залива, а также для месяцев ноябрь-март.

Для проверки справедливости выдвинутой гипотезы применен метод корреляционного анализа связей между указанными временными рядами, а также критерий Стьюдента. Перед осуществлением корреляционного анализа в каждой паре сопоставляемых временных рядов оценены и скомпенсированы линейные тренды [12].

С использованием критерия Стьюдента, для сопоставляемых рядов оценены пороговые уровни коэффициента корреляции, соответствующие достоверностям

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ В ОБСКОЙ И ГЫДАНСКОЙ ГУБЕ НА СУЩЕСТВУЮЩИЕ В НИХ ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ЗИМНИХ МЕСЯЦЕВ

вывода о наличии между ними значимой статистической связи 0,90, 0,95 и 0,99. Упомянутые пороговые уровни определены с учетом числа степеней свободы таких рядов и составляют 0,36, 0,40 и 0,53.

Результаты корреляционного анализа отображены на картах района, где выделены области той или иной достоверности вывода о справедливости проверяемой гипотезы

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с изложенной методикой, для месяцев с ноября по март, построены карты, отражающие распределение в изучаемом районе коэффициента парной корреляции межгодовых изменений среднемесячных значений СТЛ и уровня, а также СЛП и уровней рассматриваемых участков акваторий Обской и Гыданской губы.

Как пример, на рисунке 1 представлены карты, описывающие расположение участков акваторий заливов Обская и Гыданская губа, для которых вывод о значимости статистических связей межгодовых изменений среднемесячных значений СТЛ и уровня характеризуется достоверностью не ниже 0,90.

Из рисунка 1а следует, что для ноября рассматриваемый вывод характеризуется достоверностью выше 0,99 практически для всех участков акваторий Обской губы, которые расположены к югу от параллели 71°с.ш. В части этого залива, расположенной к северу от параллели 71,1°с.ш. связь между изучаемыми процессами значимой не является.

На акватории Гыданской губы участки, где связи между изучаемыми процессами являются значимыми с достоверностью 0,95, расположены лишь в ее южной части.

Рисунок 1б свидетельствует о том, что для декабря вывод о значимости связи СТЛ и уровня для залива Обская губа с достоверностью более 0,99 справедлив лишь для участков его акватории, расположенных в ее средней части, ограниченной параллелями 70°с.ш. и 71,1°с.ш.

Для участков его акватории, расположенных южнее (между параллелями 70°с.ш. и 68°с.ш.), достоверность вывода о значимости статистической связи между рассматриваемыми процессами лежит в пределах 0,95–0,99. В южной, а также в северной части залива связь между изучаемыми процессами значимой не является.

Значимая отрицательная корреляция изучаемых процессов имеет место и для преобладающей части акватории залива Гыданская губа.

Рисунки 1с и 1д показывают, что для января и февраля статистические связи между изучаемыми процессами ни в Обской, ни в Гыданской губе значимыми не являются. Возможной причиной этого является происходящее от ноября к январю снижение температуры морских вод, входящих в эти заливы. Поскольку к январю температуры этих вод практически уравниваются с температурами присутствующих в заливах речных вод, их теплообмен с ледяным покровом заливов фактически прекращается.

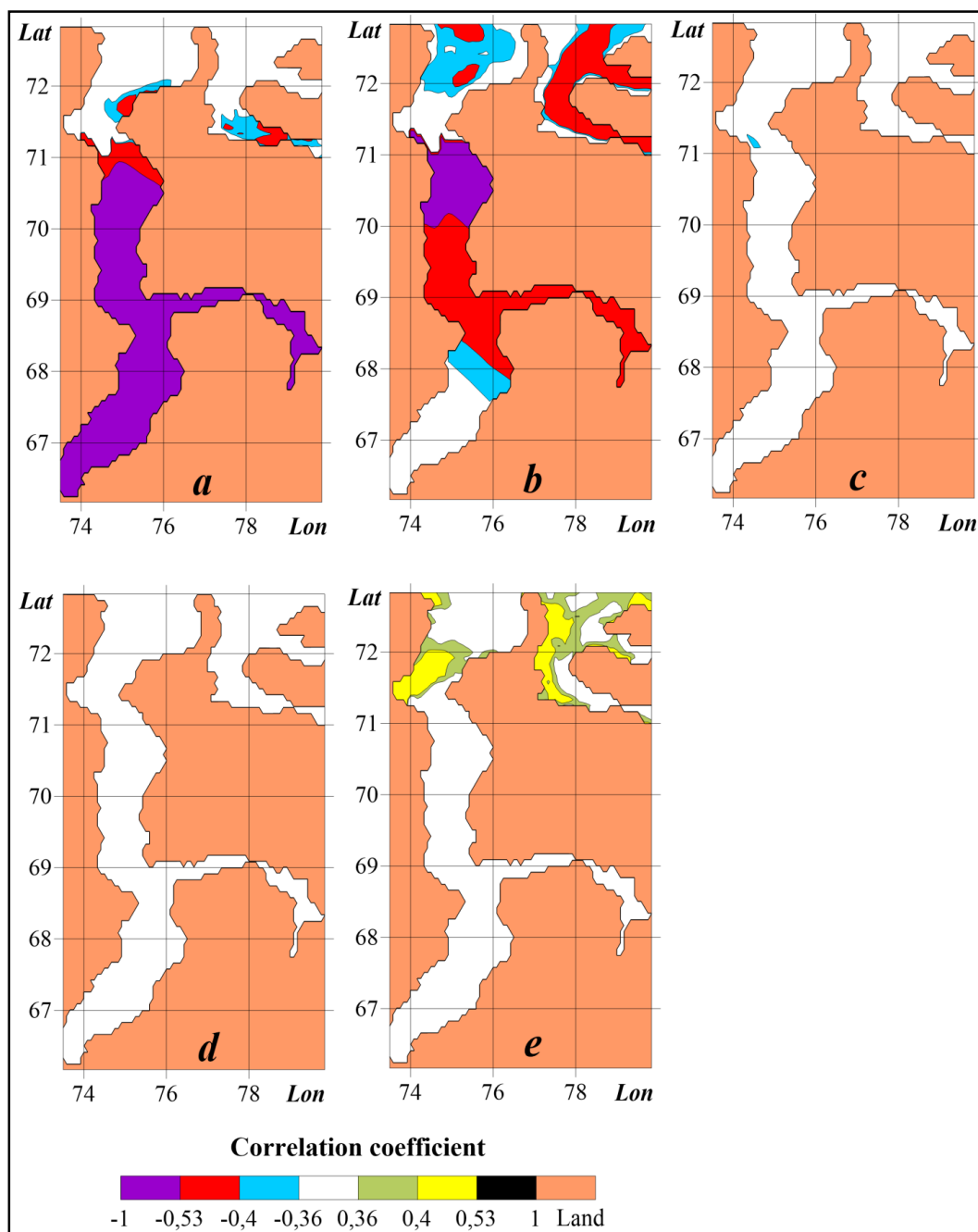


Рис. 1. Расположения участков акватории залива Обская губа, для которых статистические связи межгодовых изменений в 1993-2019 гг. их среднемесячных уровней, а также СПЛ, являются статистически значимыми для месяцев:

а) ноябрь; б) декабрь; в) январь; д) февраль; е) март.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ В ОБСКОЙ И ГЫДАНСКОЙ ГУБЕ НА СУЩЕСТВУЮЩИЕ В НИХ ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ЗИМНИХ МЕСЯЦЕВ

Как следует из рисунка 1е, в марте значимые статистические связи межгодовых изменений СЛП и уровня выявлены лишь для участков акваторий обоих заливов, которые расположены в их северных частях. При этом корреляция соответствующих временных рядов положительная. Суммарные площади таких участков для Гыданской губы больше, чем для Обской губы.

Выявленная особенность, вероятно, объясняется тем, что в марте температуры соленых вод Карского моря, проникающих в рассматриваемые заливы, ниже, чем температуры выходящих из них речных вод.

Так как в марте, при движении вглубь заливов, морские воды постепенно нагреваются, значимая положительная корреляция имеет место для районов изучаемых заливов, которые расположены только в их северных частях. Поскольку северная часть Гыданской губы более мелководна, в ней данный эффект проявляется сильнее.

Аналогичные исследования, выполнены в отношении связей межгодовых изменений среднемесячных значений СЛ и уровня для северной части Обской, а также всей акватории Гыданской губы. Их результаты показали, что связи между этими процессами на отдельных участках их акваторий, а также прилегающих к ним взморий являются значимыми. На таких участках корреляция изучаемых процессов отрицательна.

Как следует из анализа статистических связей межгодовых изменений среднемесячных значений СЛ и СЛП для зимних месяцев и для северной части залива Обская губа, вывод об их значимости для многих ее районов характеризуется достоверностью не ниже 0,95 (корреляция положительна). Последнее свидетельствует о том, что коэффициент корреляции межгодовых изменений среднемесячных значений их СЛ и уровней и для участков акватории южной части этого залива (для которых информация об этом показателе в фактическом материале отсутствует), для ноября и декабря также может быть значимым и отрицательным.

Следовательно, полученные результаты справедливость выдвинутой гипотезы подтверждают.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как следует из полученных результатов, выявленные закономерности соответствуют существующим представлениям о процессах образования и развития ледяного покрова морей [7].

Из них понятно, что в рассмотренных заливах Карского моря, для месяцев ноябрь, декабрь и март, теплообмен их ледяного покрова с проникающими в них морскими водами является значимым фактором связей межгодовых изменений среднемесячных СЛП и уровней, а также, вероятно СЛ и уровней.

Влияние указанного фактора на изучаемые процессы, а также связи между ними, является более сильным, чем влияние на них теплообмена ледяного покрова с воздухом приземного слоя атмосферы. Это влияние является тем более сильным и значимым, чем выше температуры морских вод, проникающих в изучаемые заливы (в ноябре оно сильнее, чем в декабре, а в декабре сильнее, чем в прочие зимние

месяцы). Последнее в полной мере соответствует существующим представлениям о закономерностях теплообмена [13].

В марте температуры вод Карского моря, входящих в оба залива, оказываются ниже, чем температуры выходящих из него речных вод. В итоге характер влияния изменений уровня в заливах на вариации их СЛП, для марта меняется на противоположный (значимая корреляция изучаемых процессов становится положительной).

Полученный результат подтверждают справедливость аналогичного вывода, полученного при исследованиях тех же процессов, протекающих на акватории Северного Каспия, А. В. Холопцевым и Ж. К. Наурузбаевой, которые были проведены по результатам их наземного мониторинга СТЛ и уровней на репрезентативных гидрометеорологических станциях Пешной и Атырау (статья в печати).

Наличие значимой корреляции между временными рядами среднемесячных значений изучаемых показателей для обоих заливов свидетельствует о целесообразности учета результатов мониторинга динамики уровней их акваторий, при оценке значений их СТЛ и СЛП.

Треки ИСЗ, на которых производятся измерения уровней, не совпадают с треками ИСЗ, участвующих в мониторинге СТЛ и СЛП. К тому же они существенно гуще перекрывают акватории заливов. Поэтому учет взаимосвязей между изменениями уровней, а также СТЛ и СЛП при моделировании изменений в заливах ледовых условий способен повысить точность их оценок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что выдвинутая гипотеза о значимости связей между временными рядами среднемесячных уровней некоторых участков заливов Обская и Гыданская губа, с рядами их СТЛ и СЛП, справедлива для месяцев ноябрь, декабрь и март. В ноябре и декабре достоверность указанного вывода для многих участков превышает 0,99, а в марте ее значение выше, чем 0,95. Из этого следует, что теплообмен ледяного покрова этих и других мелководных морских заливов с входящими в них морскими водами является мощным фактором изменчивости его состояния. Вариации уровня таких акваторий регулируют расходы подобных течений, а значит и потоки тепла, отдаваемого ими ледяному покрову, либо отбираемого у него.

Практическая значимость полученных результатов состоит в обосновании целесообразности учета результатов мониторинга динамики уровней рассматриваемых водных объектов, при оценке изменчивости характеристик их ледяного покрова, с использованием метода математического моделирования.

Перспективы дальнейших исследований в заявленном направлении определяются актуальностью расширения временных рамок навигационного периода в заливе Обская губа за счет завершения его в более поздние сроки.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ В ОБСКОЙ И ГЫДАНСКОЙ ГУБЕ НА
СУЩЕСТВУЮЩИЕ В НИХ ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ
ДЛЯ ЗИМНИХ МЕСЯЦЕВ

Список литературы

1. Ivanova N. O., L. T. Pedersen, R. T. Tonboe, S. Kern, G. Heygster, T. Lavergne, A. Sørensen, R. Saldo, G. Dybkjaer, L. Brucker, and M. Shokr. Satellite passive microwave measurements of sea ice concentration: an optimal algorithm and challenges. // *The Cryosphere Discussions*. 2015. Vol. 9. P. 1296–1313. DOI: 10.5194/tcd-9-1269-2015
2. Teleti P. R., Luis A. J. Sea Ice Observations in Polar Regions: Evolution of Technologies in Remote Sensing // *International Journal of Geosciences*. 2013. Vol. 4. No. 7. P. 1031–1050. DOI: 10.4236/ijg.2013.47097.
3. Schutz, B. E.; Zwally, H. J.; Shuman, C. A.; Hancock, D.; DiMarzio, J. P. (2005). "Overview of the ICESat Mission" (PDF). *Geophys. Res. Lett.* 32: L21S01. Bibcode: 2005 GeoRL..3221S01S. DOI:10.1029/2005GL024009 .
4. Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей / Под редакцией В.Г. Смирнова. С.-Пб.: ААНИИ. 2011. 240 с.
5. Vichi M. Coupling BFM with Ocean models: the NEMO model (Nucleus for the European Modelling of the Ocean) / M. Vichi, T. Lovato, E. Gutierrez Mlot, W. McKiver // *BFM report series*. 2015. No. 2. Release 1. 31 p.
6. Алексеева Т. А., Фролов С. В., Сероветников С. С. Обзор методов и основных результатов измерения толщины морского льда в Арктике // *Российская Арктика*. 2021. № 12. С. 33–49. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49.
7. Фролов И. Е. Океанография и морской лед. М.: Paulsen. - 2011. 432с.
8. Mörner N.-A. Sea level is not rising / N.-A.Mörner // *Science and Public Police Institute Reprint Series*. Dec.6, 2012. 26 p.
9. Fu, L.-L. and Cazenave, A. 2001. *Satellite Altimetry and Earth Sciences. A handbook of techniques and Applications*. Ac. Press, San Diego. 463 pp.
10. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А. и др. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 472 с.
11. Global Ocean Physics Reanalysis [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030.
12. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити. 1998. 1022 с.
13. Лыков А. В., Михайлов Ю. А. Теория переноса энергии и вещества. Минск, АН БССР, 1959. 330 с.

**THE EFFECT OF CHANGES IN THE LEVEL IN THE OB AND GYDAN BAY
ON THE EXISTING ICE CONDITIONS IN THEM FOR THE WINTER MONTHS**

Holoptsev A. V.¹, Podporin S. A.², Kurochkin L.E.³, Borisov K.I.⁴

¹Sevastopol Branch of N. N. Zubov State Oceanographic Institute, Sevastopol, Russian Federation

^{1,2,3,4}Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: ¹khoptsev@mail.ru, ²SAPodporin@sevsu.ru, ³L.kurochkin.mj@mail.ru,

⁴kirill-petrovich-20.borisoff@yandex.ru

The cohesion and thickness of the ice cover found on waterways in the World Ocean largely determines the safety and intensity of navigation carried out on them. Therefore, the improvement of technologies for remote monitoring of changes in the above-mentioned characteristics for its navigable areas is an urgent problem of navigation, hydrography and oceanography in terms of ensuring the safety of navigation.

The solution of this problem is of the greatest interest for shallow water areas through which waterways with increased ship traffic pass. Such areas include the Ob and Gydan Bay, navigation in which is carried out in the winter months.

According to the existing ideas about the factors of variability of the cohesion and thickness of the ice cover of marine waters, the heat exchange of the lower part of the ice cover with the waters surrounding it is among the main ones. During the period of minimum values of solar radiation fluxes absorbed by the surface part of sea ice, this factor is the main one.

In shallow freezing estuaries of rivers in the winter months, almost fresh river waters spread directly under the ice to the sea in a relatively thin layer. Below them, salty and warmer sea waters enter the bay from the sea side with the onset of the autumn-winter period. Since the temperatures of the surface layer of the waters of the Arctic seas decrease during the winter, by March the waters entering the bays become colder than the waters leaving them. Therefore, the heat exchange of the ice cover of bays with sea waters is able to both warm and cool it.

The flow rate of bottom currents of sea waters in bays is less, the lower the levels of their water surface. The lower the flow rate of sea waters penetrating deep into a particular bay, the lower the intensity of their heat exchange with the ice cover. The latter suggests that in the months of navigation from November to March, variations in their level may be a significant factor in the interannual changes in the average monthly values of the cohesion and thickness of the ice cover in the Ob and Gydan Bay.

The research methodology assumed the formation of time series of average monthly values of the level of cohesion and thickness of the ice cover for each node of the coordinate grid in the water area of the bays in the period November-March from the specified information. To test the validity of the hypothesis put forward, the method of correlation analysis of the relationships between these time series, as well as the Student's criterion, was applied.

In accordance with the above methodology, maps were constructed for the months from November to March reflecting the distribution in the studied area of the coefficient of paired correlation of interannual changes in the average monthly values of the levels of cohesion and thickness of the ice cover of the considered areas of the Ob and Gydan Bay.

As follows from the results obtained, the revealed patterns correspond to the existing ideas about the processes of formation and development of the ice cover of the seas. It is clear from them that in the considered bays of the Kara Sea for the months of November, December and March, the heat exchange of their ice cover with seawater penetrating into them is a significant factor in the relationship of interannual changes in the average monthly levels of cohesion and thickness of the ice cover. The influence of this factor on the studied processes, as well as the connections between them, is stronger than the influence of the heat exchange of the ice cover with the air of the surface layer of the atmosphere on them. This influence is the stronger and more significant the higher the temperature of the sea waters penetrating into the studied bays (in November it is stronger than in December, and in December it is stronger than in other winter months).

The practical significance of the results obtained consists in substantiating the expediency of taking into account the results of monitoring the dynamics of the levels of the water bodies under consideration, when assessing the variability of the characteristics of their ice cover, using the method of mathematical modeling.

Keywords: level, ice cover, cohesion, average thickness, heat exchange, communication, Ob Bay, Gydan Bay, winter months.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ В ОБСКОЙ И ГЫДАНСКОЙ ГУБЕ НА
СУЩЕСТВУЮЩИЕ В НИХ ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ
ДЛЯ ЗИМНИХ МЕСЯЦЕВ

References

1. Ivanova N. O., Pedersen L.T., Tonboe R. T., Kern S., Heygster G., Lavergne T., Sørensen A., Saldo R., Dybkjaer G., Brucker L., and Shokr M. Satellite passive microwave measurements of sea ice concentration: an optimal algorithm and challenges. // The Cryosphere Discussions. 2015. Vol. 9. P. 1296–1313. DOI: 10.5194/tcd-9-1269-2015.
2. Teleti P. R., Luis A. J. Sea Ice Observations in Polar Regions: Evolution of Technologies in Remote Sensing // International Journal of Geosciences. 2013. Vol. 4. No. 7. P. 1031–1050. DOI: 10.4236/ijg.2013.47097.
3. Schutz, B. E.; Zwally, H. J.; Shuman, C. A.; Hancock, D.; DiMarzio, J. P. (2005). "Overview of the ICESat Mission" (PDF). Geophys. Res. Lett. 32: L21S01. Bibcode: 2005 GeoRL.3221S01S. DOI:10.1029/2005GL024009.
4. Sputnikovye metody opredeleniya harakteristik ledyanogo pokrova morej / Pod redakciej V.G. Smirnova. S.-Pb.: AANII. 2011. 240 s. (In Russian).
5. Vichi M. Coupling BFM with Ocean models: the NEMO model (Nucleus for the European Modelling of the Ocean) / M. Vichi, T. Lovato, E. Gutierrez Mlot, W. McKiver // BFM report series. 2015. No. 2. Release 1. 31 p.
6. Alekseeva T.A., Frolov S.V., Serovetnikov S.S. Obzor metodov i osnovnyh rezul'tatov izmereniya tolshchiny morskogo l'da v Arktike // Rossijskaya Arktika. 2021. № 12. S. 33–49. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49. (In Russian).
7. Frolov I.E. Okeanografiya i morskoy led. M.: Paulsen. 2011. 432c. (In Russian).
8. Mörner N.-A. Sea level is not rising / N.-A.Mörner // Science and Public Police Institute Reprint Series. Dec.6, 2012. 26 p.
9. Fu, L.-L. and Cazenave, A. 2001. Satellite Altimetry and Earth Sciences. A handbook of techniques and Applications. Ac. Press, San Diego. 463 pp
10. Lavrova O.YU., Kostyanov A.G., Lebedev S.A. i dr. Kompleksnyj sputnikovj monitoring morej Rossii. M.: IKI RAN, 2011. 472 s. (In Russian).
11. Global Ocean Physics Reanalysis [Elektronnyj resurs]. URL: http://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030.
12. Ajvazyan S. A., Mhityan V. S. Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki. M.: YUniti. 1998. 1022 s. (In Russian).
13. Lykov A. V., Mihajlov YU. A. Teoriya perenosa energii i veshchestva. Minsk, AN BSSR, 1959. 330 s. (In Russian).

Поступила в редакцию 31.01.2022 г.