



ISSN 0514-7468

40 (2)

2018

ЖУРНАЛ ЗЕМЛИ

Журнал Земли

2018 40 (2)

2018





ISSN 0514-7468

Жизнь Земли

2018

Т. 40, № 2

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 1961 года,
журнальная ежеквартальная версия обновлена с 2016 года

Редакционный совет:

В.А. Садовничий (председатель Совета), Н.А. Абакумова, Ф.Г. Агамалиев (Азербайджан), А.П. Бужилова, С.А. Добролюбов, М.В. Калякин, Н.С. Касимов, М.П. Кирпичников, А.И. Клюкина, Нгуен Трунг Минх (Вьетнам), С.Х. Мирзоев (Таджикистан), А.С. Орлов, Д.Ю. Пушаровский, Н.Г. Рыбальский, С.А. Шоба

Редакционная коллегия:

А.В. Смуров (гл. редактор), В.В. Снакин (зам. гл. редактора), Л.В. Алексева (отв. секретарь), С.М. Аксёнов (США), М.И. Бурлыкина, И.Л. Ган (Австралия), Е.П. Дубинин, А.В. Иванов, В.В. Козодёров, Н.Н. Колотилова, С.Н. Лукашенко (Казахстан), С.А. Маскевич (Беларусь), Йован Плавша (Сербия), Е.С. Полковникова, Л.В. Попова, А.П. Садчиков, С.А. Слободов, В.Р. Хрисанов, В.С. Цховребов, Э.И. Черняк, П.А. Чехович



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2018**

Адрес редакции:

119991, Москва, Ленинские Горы, МГУ,
Музей землеведения;
Тел.: +7 (495) 939-14-15; +7 (495) 939-12-21;
e-mail: zhizn_zemli@mail.ru
<http://zhiznzemli.ru>
[http://msupress.com/catalogue/magazines/
geografiya/](http://msupress.com/catalogue/magazines/geografiya/)



ISSN 0514-7468

Zhizn' ZEMLI

2018
Vol. 40, № 2

[THE LIFE OF THE EARTH]

SCIENTIFIC AND PRACTICAL INTERDISCIPLINARY JOURNAL

Published four times a year from 2016

Editorial council:

V.A. Sadovnichy (Council Chairman), N.A. Abakumova, F.G. Agamaliyev (Azerbaijan), A.P. Buzhilova, S.A. Dobrolyubov, M.V. Kalyakin, N.S. Kasimov, M.P. Kirpichnikov, A.I. Klyukina, Nguen Trung Minh (Vietnam), S.H. Mirzoev (Tajikistan), A.S. Orlov, D.Yu. Pushcharovskiy, N.G. Rybalskiy, S.A. Shoba

Editorial board:

A.V. Smurov (Ch. Editor), V.V. Snakin (deputy Ch. Editor), L.V. Alekseeva (Resp. Secretary), S. Aksenov (USA), M.I. Burlykina, I.L. Gan (Australia), E.P. Dubinin, A.V. Ivanov, V.V. Kozoderov, N.N. Kolotilova, S.N. Lukashenko (Kazakhstan), S.A. Maskevich (Belarus), J. Plavska (Serbia), E.S. Polkovnikova, L.V. Popova, A.P. Sadchikov, S.A. Slobodov, V.R. Khrisanov, V.S. Chovrebov, E.I. Chernyack, P.A. Chekhovich



PUBLISHING
Moscow State University
2018

Editorial address:

119991, Moscow, Leninskiye Gory, MGU,
Earth Science Museum;
Tel.: +7 (495) 939-14-15; 7 (495) 939-12-21;
e-mail: zhizn_zemli@mail.ru
<http://zhiznzemli.ru>
[http://msupress.com/catalogue/magazines/
geografiya/](http://msupress.com/catalogue/magazines/geografiya/)

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ МИРОВОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ РАСЧЁТОВ ИНСОЛЯЦИИ ЗЕМЛИ¹

В.М. Фёдоров²

Проведён анализ временных рядов значений уровня Мирового океана (УМО) в связи с меридиональным изменением инсоляции Земли (инсоляционной контрастностью). Найдена высокая корреляционная связь между многолетней динамикой УМО и изменением инсоляционной контрастности: изменения УМО более чем на 95 % определяются динамикой инсоляции. На основе уравнений регрессии выполнен оценочный прогноз значений УМО на период до 2050 г. Ожидается, что относительно 2016 г. предстоящее увеличение УМО в годы его максимального подъёма может составить 17,4 мм, 44,3 мм и 39,8 мм в 2019, 2038 и 2046 гг. соответственно.

Ключевые слова: глобальный климат, уровень Мирового океана (УМО), инсоляция Земли.

SEA LEVEL CHANGE FORECASTING BASED ON SOLAR IRRADIANCE CALCULATIONS

Fedorov V.M., PhD

Lomonosov Moscow State University (Faculty of Geography)

As the title implies the article is devoted to the analysis of time-series data of sea level (SL) with regard to longitudinal change of solar irradiance (irradiance contrast). The article proves that there is a high correlation between perennial sea level change and irradiance contrast change. Further the author reports that SL change higher than 95 % is accounted for by the trend. Using regression equations, the author made approximate calculations of SL change up to the year 2050. According to the article, starting from 2016 SL is forecasted to increase by 17.4 mm, 44.3 mm and 39.8 mm in 2019, 2038 and 2046 respectively.

Keywords: global climate, sea level, solar irradiance.

Введение. Развитие человеческой цивилизации и природы Земли тесно связано с Мировым океаном, занимающим около 71 % площади Земли. Термический режим поверхностного слоя Мирового океана определяется приходящей от Солнца радиацией и механизмами теплообмена, важнейшими из которых являются перенос тепла морскими течениями от экватора к полюсам и гидрологический цикл. Поверхность Мирового океана способна поглощать до 99 % поступающей на неё солнечной радиации, тогда как для суши этот показатель составляет 55–65 %. Благодаря этому и большой теплоёмкости воды, Мировой океан представляет собой мощный аккумулятор тепла, оказывающий исключительно большое влияние на температурные условия прилегающих окраин континентов. Мировой океан, таким образом, является важным компонентом климатической системы Земли и её природной оболочки, средой обитания многих животных и растительных организмов. Исследование изменения уровня Мирового океана (УМО) представляется в настоящее время особенно актуальным как

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-05-07590).

² Фёдоров Валерий Михайлович – к.г.н., в.н.с. географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, fedorov.msu@mail.ru.

в научном, так и практическом аспекте в связи с изменениями климата, вызванными целым рядом глобальных процессов в атмосфере Земли, на её поверхности и в поверхностном слое океана [17].

Изменение уровня Мирового океана определяется эвстатическими и изостатическими причинами. Эвстатические причины связаны с таянием ледников [7–10] и многолетних морских льдов [11], что определяется изменением температурных характеристик приземной атмосферы и поверхностного слоя океана (ПТВ – приповерхностная температура воздуха и ТПО – температура поверхности океана). От изменения температурных характеристик также зависят процессы испарения и выпадения атмосферных осадков [2] и плотностная (стерическая) составляющая изменения УМО, связанная с расширением удельного объема воды самого океана.

Обычно УМО рассматривается как интегральный индикатор глобального водообмена, перераспределяющего воды гидросферы между отдельными оболочками Земли, прежде всего между ледниковыми покровами и водами суши. Одновременно с этим УМО испытывает плотностные (стерические) колебания, возникающие под действием, главным образом, изменения температуры верхнего слоя океана, а также частично от поступления пресных вод ледников [1, 2, 3]. Объемные изменения УМО в основном представляют собой сумму эвстатических факторов и плотностной (стерической) компоненты [3, 4]. Предполагается, что в современных климатических условиях при глобальном осреднении колебания УМО за счёт современных вертикальных движений земной коры, имеющих разный знак в разных регионах Земли, нивелируют друг друга [2]. Таким образом, изостатические деформации УМО предполагаются сравнительно незначительными на данном временном интервале.

Основным источником энергии гидрометеорологических процессов является лучистая энергия Солнца. Именно поэтому были проведены исследования изменения УМО в связи с меридиональным изменением инсоляции Земли.

Методика расчётов инсоляции. На основе проведённых ранее исследований была рассчитана приходящая на эллипсоид Земли (без учёта атмосферы) лучистая энергия [15]. Расчёты инсоляции выполнялись по данным высоточных астрономических эфемерид [16, 18] для всей земной поверхности в интервале с 3000 г. до н. э. по 3000 г. н. э. Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей, равными 6378137 м (большие) и 6356752 м (малая). В общем виде алгоритм расчетов можно приближенно представить выражением:

$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (\sigma(H, \varphi) \left(\int_{\pi}^{\pi} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt, \quad (1)$$

где I – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (m^2), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал; $\sigma(H, \varphi)d\alpha d\varphi$ – площадь бесконечно малой трапеции – ячейки эллипсоида; α – часовой угол, φ – географическая широта, выраженные в радианах; H – высота поверхности эллипсоида относительно поверхности Земли (м); $\Lambda(H, t, \varphi, \alpha)$ – инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида ($Вт/м^2$), t – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени $1/360$ часть продолжительности тропического года. Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361 Вт/м^2 [21]. По

результатам расчётов сформирована общедоступная база данных приходящей солнечной энергии во все широтные зоны Земли (протяжённостью в 5°) за каждый астрономический месяц каждого года для периода от 3000 г. до н. э. до 3000 г. н. э. [19].

Результаты и их обсуждение. Были проанализированы ряды данных по изменению УМО в связи с рассчитанными значениями инсоляции. При этом использовался показатель инсоляции (инсоляционная контрастность – ИК), который определялся как разность солнечной радиации, поступающей за год в экваториальные (от 0° до 45°) и полярные области (от 45° до 90°) каждого полушария. Для Земли принималось среднее по полушариям значение этого показателя (рис. 1).

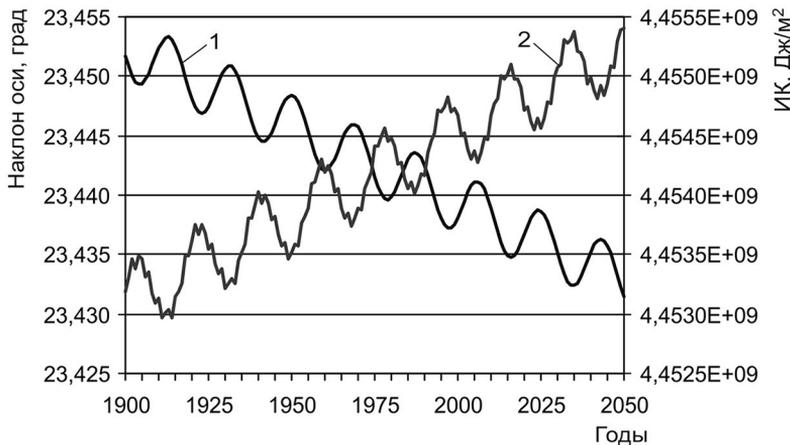


Рис. 1. Изменение угла наклона оси вращения Земли (1) и инсоляционной контрастности – ИК (2).

Показатель ИК близок по смыслу меридиональному градиенту инсоляции, но не нормирован по расстоянию. Он, таким образом, равен разности инсоляции в области, являющейся источником тепла, и инсоляции в области стока тепла. Эта разность, как и меридиональный градиент инсоляции, определяет интенсивность межширотного теплообмена. Изменение ИК определяется изменением наклона оси вращения Земли. Известно, что при увеличении угла наклона оси вращения увеличивается приход солнечной радиации в полярные районы, т. е. происходит сглаживание широтной контрастности в полушариях и усиление сезонных различий. При уменьшении угла наклона происходит увеличение радиации, поступающей в экваториальную область и уменьшение радиации, поступающей в полярные районы, широтные контрасты, в инсоляции возрастают, а сезонные различия сглаживаются [6].

Исходными данными по изменению УМО были три ряда годовых значений, охватывающих период с 1861 по 2008 гг. Ряд 1 – результат реконструкции глобального уровня океана по данным инструментальных наблюдений (с 1861 по 2008 гг.) – получен в Российском государственном гидрометеорологическом университете [3, 5]. Ряд 2 охватывает период с 1860 по 2008 гг. [14], ряд 3 – с 1861 по 2008 гг.) [20]. Для сравнения этих трёх рядов УМО они были совмещены на отметке 100 мм для 1901 г. [3]. Эти приведённые ряды УМО, любезно предоставленные автору В.Н. Малининым, анализировались в связи с изменением значений ИК.

Корреляционный анализ временных рядов значений УМО и ИК показывает высокую корреляционную связь между изменением уровня Мирового океана и изменением меридионального распределения инсоляции. Значение коэффициента корреляции для 1 ряда составляет 0,908, для 2 ряда – 0,910, для 3 ряда – 0,929. Изменения УМО в исходных рядах в основном учитываются трендами. Значения коэффициента детерминации (R_2) в случае линейного тренда составляют для исходных значений ряда 1 – 0,934, для рядов 2 и 3 – 0,954. В случае полиномиального тренда значения R_2 составляют 0,972, 0,987 и 0,959 для 1, 2 и 3 рядов исходных данных, соответственно.

С учётом высокого уровня корреляционной связи были получены линейные и полиномиальные (полином 2-й степени) уравнения регрессии индекса ИК и значений УМО для всех трёх рядов (рис. 2, 3).

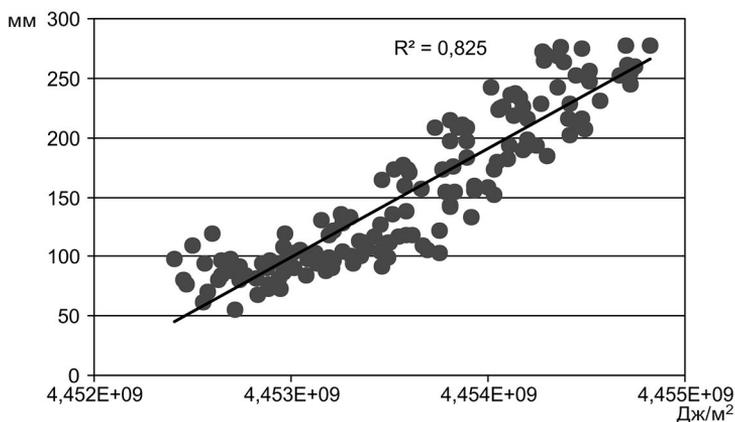


Рис. 2. Связь УМО и ИК и график уравнения линейной регрессии (ряд 1).

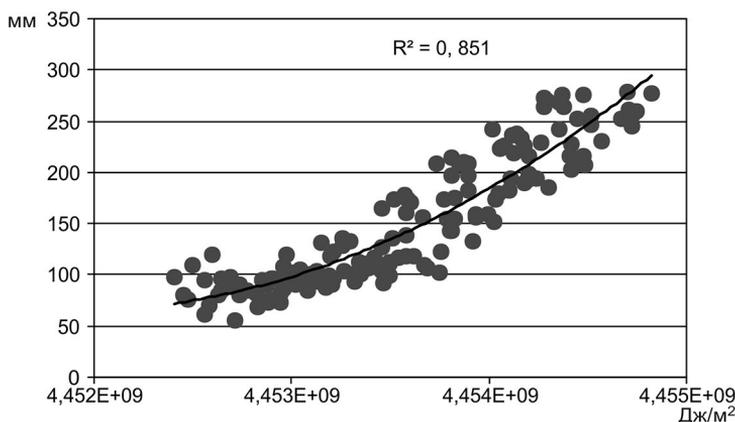


Рис. 3. Связь УМО и ИК и график уравнения полиномиальной (полином 2-й степени) регрессии (ряд 1).

По уравнениям регрессии были рассчитаны значения УМО для периода с 1861 по 2050 гг. Затем (для каждого из трёх рядов) рассчитывались средние значения УМО по ансамблю линейных и полиномиальных решений.

Значения R_2 в линейных уравнениях регрессии составили для ряда 1 и 2 – 0,825, для ряда 3 – 0,863. В полиномиальных уравнениях регрессии получены значения R_2 , равные 0,851, 0,856 и 0,866 для 1, 2 и 3 рядов соответственно. Коэффициент детерминации (R_2) обычно рассматривают в качестве основного показателя, отражающего меру качества регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимыми переменными модели. Коэффициент детерминации показывает, какая доля изменений объясняемой переменной учитывается в модели и определяется влиянием на неё факторов, включённых в модель (чем ближе R_2 к 1, тем выше качество модели).

Проведено сравнение рассчитанных по ансамблю значений УМО с фактическими, представленными в рядах 1–3 значениями УМО (интервал с 1861 по 2008 гг.). Сравнение проводилось вычитанием рассчитанных значений УМО из соответствующих по годам фактических значений УМО. Средние по модулю значения расхождения составили для ряда 1 – 20,81 мм, для ряда 2 – 19,43 мм, для ряда 3 – 23,39 мм. Относительно значения УМО 2008 года (последних данных в рядах УМО) эти расхождения составляют 7,56 %, 7,09 % и 8,91 % соответственно. При этом в распределении расхождения рассчитанных значений УМО с фактическими значениями отмечается периодичность. Выделяются периоды, в которых фактические значения превышают рассчитанные, и периоды, в которых они им уступают (рис. 4).

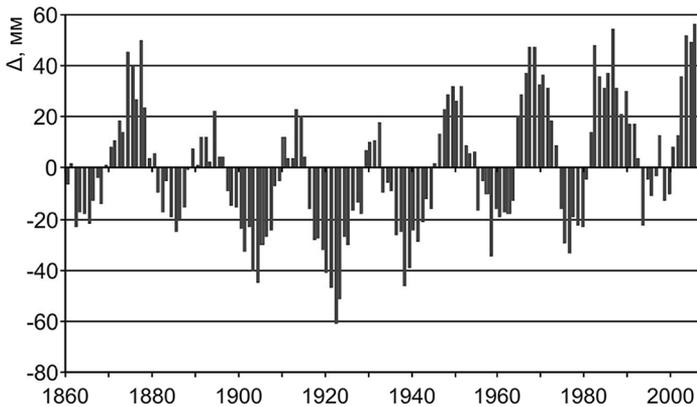


Рис. 4. Распределение разности фактических и рассчитанных значений УМО, мм (ряд 1).

На исследуемом интервале выделяется 8 групп, в которых разность фактических значений УМО превышает рассчитанные значения УМО, и 8 групп, в которых фактические значения уступают рассчитанным. Средняя продолжительность групп, в которых разность фактических и рассчитанных значений УМО является положительной, составляет 8,67 года (9,75, 9,86 и 10,0 лет для 1, 2 и 3 ряда соответственно). Средняя продолжительность групп, в которых разность фактических и рассчитанных значений УМО является отрицательной, составляет 9,87 года (9,75, 8,75 и 8,50 лет для 1, 2 и 3 ряда, соответственно). Эти группы, вероятно, соответствуют фазам нутационного цикла, проявляющегося в распределении инсоляции [15]. Расхождения, таким образом, связаны с тем, что нутационный цикл не проявляется (или очень слабо проявляется) в изменении УМО. Средние по модулю значения разности фактических и рассчитанных значений УМО для групп с отрицательной разностью расхождения составляют 19,56 мм, 19,43 мм и 20,98 мм для 1, 2 и 3 ряда соответственно (среднее 19,99). Средние

по модулю значения разности фактических и рассчитанных значений УМО для групп с положительной разностью расхождения составляют 21,80 мм, 19,19 мм и 24,68 мм для 1, 2 и 3 ряда соответственно (среднее 21,89).

С учётом полученных расхождений в рассчитанные значения УМО были внесены соответствующие поправки для групп с отрицательными и положительными значениями разности (алгебраическим сложением соответствующих средних значений расхождения). В результате среднее по модулю расхождение фактических и рассчитанных значений УМО сократилось и составило 11,29 мм, 10,32 мм и 11,71 мм для 1, 2 и 3 рядов, соответственно. Относительно значения УМО, зафиксированного для 2008 г., это составляет 4,10 %, 3,76 % и 4,46 % для 1, 2 и 3 ряда, соответственно. Изменение УМО по фактическим и рассчитанным (с учетом поправок) данным для ряда 1 представлено на рис. 5.

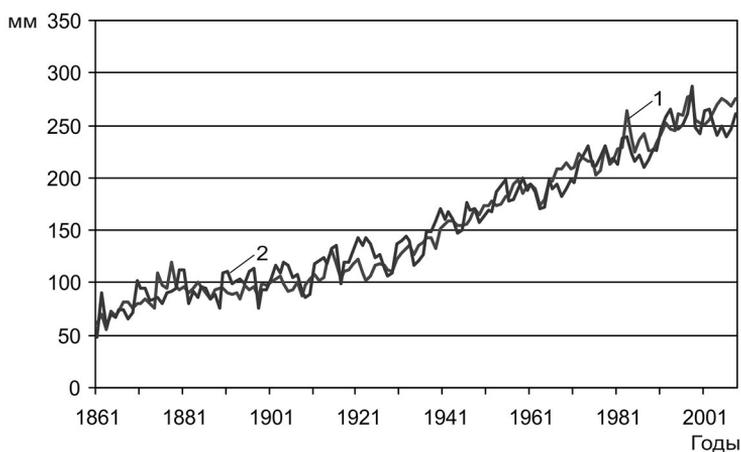


Рис. 5. Изменение УМО по фактическим (1) и рассчитанным (2) значениям, мм.

Отмеченного эффекта приближения рассчитанных данных с фактическими можно было добиться и изначальным сглаживанием ряда ИК (например, по 21 году методом скользящего среднего) для исключения 19-ти летней вариации.

Рассчитывалась дисперсия для рядов фактических данных УМО (D_1) и соответствующих рядов расхождения фактических и рассчитанных значений (D_2). Затем рассчитывалось значение D_2/D_1 , и вычитанием полученных значений из единицы определялась доля изменений УМО, объясняемая трендом в изменении ИК (по которой рассчитывались значения УМО). Эти значения составили 95,22 %, 95,39 % и 96,39 % для 1, 2 и 3 рядов, соответственно. Таким образом, изменения УМО в основном определяются изменением меридионального распределения инсоляции Земли (ИК), связанного с изменением наклона оси её вращения [15].

С учётом полученных данных по продолжительности групп с положительными и отрицательными значениями разности фактических и рассчитанных значений УМО нами были внесены соответствующие поправки (средние для этих групп значения расхождения) в рассчитанные на период с 2009 по 2050 гг. значения УМО. В результате получены прогнозируемые значения изменения УМО по данным инсоляции (ИК) на период с 2009 по 2050 гг. (рис. 6).

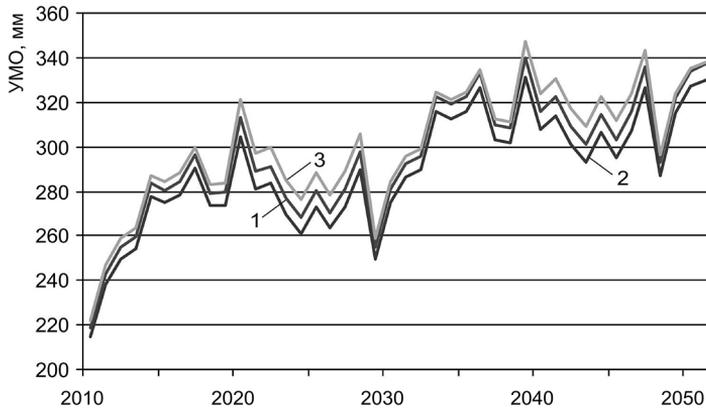


Рис. 6. Оценочный прогноз изменения УМО (1, 2, 3 – ряды), мм.

Полученные результаты показывают, что УМО на этом интервале будет повышаться. Однако его изменения при этом весьма существенные. Так, в 2019, 2038 и в 2046 гг. ожидаются максимальные повышения УМО, которые составят 312,74 мм (среднее по 1, 2 и 3 рядам), 339,63 мм и 335,17 мм соответственно. Это повышение УМО относительно 2008 года (270,61 – среднее по 1, 2 и 3 рядам) составит 42,13 мм, 69,02 мм и 64,56 мм в 2019, 2038 и 2046 гг., соответственно. Относительно 2016 г. увеличение УМО в годы его максимального подъёма на данном интервале может составить 17,39 мм, 44,29 мм и 39,82 мм в 2019, 2038 и 2046 гг., соответственно. Следует отметить, что ближайший максимум УМО в 2019 г. (см. рис. 6) совпадает с абсолютным максимумом в прогностическом ряду УМО, рассчитанном на период с 2000 по 2028 гг. по физико-статистической модели в РГГМУ [3].

Заключение. В настоящее время изменение УМО связано с изменением глобального климата (общим потеплением). Изменения УМО вызываются естественными причинными, основной из которых является уменьшение угла наклона оси вращения Земли и связанного с этим увеличением меридиональной контрастности инсоляции (ИК). Следствием увеличения ИК, вероятно, является усиление межширотного теплообмена из-за активизации работы «тепловой машины первого рода» [13]. Усиление межширотного теплообмена приводит к повышению температуры в областях стока тепла, повышению содержания водяного пара в атмосфере в областях стока тепла и, в связи с этим, к усилению парникового эффекта [12]. В практическом отношении отмечаемое в связи с потеплением климата увеличение УМО может представлять определённую угрозу подтопления территорий, расположенных в пределах отмечаемых высотных уровней, размыву их берегов и отступанию береговой линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клиге Р.К. Изменение глобального водообмена. М.: Наука, 1985. 247 с.
2. Клиге Р.К., Малинин В.Н., Шевчук О.И. Колебания уровня Мирового океана в XX столетии // Вестн. Моск. ун-та, серия 5, география. 2009. № 1. С. 7–13.
3. Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее. СПб.: РГГМУ, 2012. 260 с.
4. Малинин В.Н. Изменения уровня Мирового океана и климата // Уч. Зап. РГГМУ. 2015. № 41. С. 100–115.

5. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Шевчук О.И.* Изменчивость уровня Мирового океана за последние 140 лет // Уч. Зап. РГГМУ. 2007. № 4. С. 27–33.
6. *Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.–Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.
7. *Фёдоров В.М.* Макроциркуляционная модель реконструкции и прогноза динамики баланса массы субарктических ледников (на примере ледника Энгабреен) // Известия РАН, серия географическая. 2007. № 3. С. 18–26.
8. *Фёдоров В.М.* Реконструкция динамики баланса массы арктических ледников в XX столетии на основе макроциркуляционной модели // Криосфера Земли, 2009. Т. XIII, № 3. С. 80–87.
9. *Фёдоров В.М.* Динамика баланса массы ледников в связи с макроциркуляционными процессами в атмосфере. М.: Физматлит, 2011. 376 с.
10. *Фёдоров В.М.* Изменения ледовых ресурсов отдельных ледниковых районов северного полушария в XX в. // Водные ресурсы. 2015. Т. 42, № 1. С. 3–12.
11. *Фёдоров В.М.* Тенденции изменения площади морских льдов в Северном полушарии и их причины // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX, № 3. С. 52–64.
12. *Фёдоров В.М.* Корреляционный анализ инсоляции Земли и приповерхностной температуры // Уч. зап. РГГМУ. 2016. № 45. С. 151–168.
13. *Шулейкин В.В.* Физика моря. М.: АН СССР, 1953. 990 с.
14. *Church J.A., White N.J.* A 20th century acceleration in global sea-level rise // J. Geophysical Research Letters, 2006. V. 33, № 1. L01602.
15. *Fedorov V.M.* Spatial and temporal variation in solar climate of the Earth in the present epoch // Izvestiya, Atmospheric and oceanic physics, 2015. V. 51, № 8. P. 779–791.
16. *Giorgini J.D., Yeomans D.K., Chamberlin A.B., Chodas P.W., Jacobson R.A., Keesey M.S., Lieske J.H., Ostro S.J., Standish E.M., Wimberly R.N.* JPL's On-Line Solar System Data Service // Bulletin of the American Astronomical Society, 1996. V. 28(3). P. 1158.
17. <http://www.ipcc.ch/> – Электронный ресурс Международной группы экспертов по изменению климата.
18. <http://ssd.jpl.nasa.gov>. – NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США.
19. <http://www.solar-climate.com> – Электронный ресурс «Солнечная радиация и климат Земли».
20. *Jevrejeva S., Grinsted A., Moore J. C., Holgate S.* Nonlinear trends and multiyear cycles in sea level records // J. Geophysical Research, 2006. V. 111, № C9. C09012.
21. *Kopp G., Lean J.* A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // Geophysical Research Letters, 2011. V. 37. L01706.

REFERENCES

1. Klige R.K. *Change in global water exchange*. 247 p. (Moscow: Nauka, 1985) (in Russian).
2. Klige R.K., Malinin V.N., Shevchuk O.I. Fluctuations in the level of the World Ocean in the 20th century. *Vestnik Moskovskogo universiteta, seriya 5, geografiya*. 1, 7–13 (2009) (in Russian).
3. Malinin V.N. *Ocean level: present and future*. 260 p (St. Petersburg: RGGMU, 2012) (in Russian).
4. Malinin V.N. Changes in the level of the world's oceans and climate. *Uchenye zapiski RGGMU*. 41, 100–115 (2015) (in Russian).
5. Malinin V.N., Gordeyeva S.M., Shevchuk O.I. The volatility of the level of the oceans over the past 140 years. *Uchenye Zapiski RGGMU*. 4, 27–33 (2007) (in Russian).

6. Milankovich M. *Mathematical Climatology and the Astronomical Theory of Climate Variations*. 208 p. (Moscow–Leningrad: GONTI, 1939) (in Russian).
7. Fedorov V.M. Macrocirculation model for reconstruction and forecast of the dynamics of the mass balance of subarctic glaciers. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. **3**, 18–26 (2007) (in Russian).
8. Fedorov V.M. Reconstruction of the mass balance dynamics of the Arctic glaciers in the XX century on the basis of the macrocirculation model. *Kriosfera Zemli*. **XIII** (3), 80–87 (2009) (in Russian).
9. Fedorov V.M. *Dynamics of mass balance of glaciers in connection with macrocirculation processes in the atmosphere*. 376 p. (Moscow: Fizmatlit, 2011) (in Russian).
10. Fedorov V.M. Changes in the ice resources of individual glacial regions of the northern hemisphere in the XX century. *Vodnye resursy*. **42** (1), 3–12 (2015) (in Russian).
11. Fedorov V.M. Trends in the area of sea ice in the Northern Hemisphere and their causes. *Kriosfera Zemli*. **XIX** (3), 52–64 (2015) (in Russian).
12. Fedorov V.M. Correlation analysis of Earth's insolation and near-surface temperature. *Uchenye Zapiski RGGMU*. **45**, 151–168 (2016) (in Russian).
13. Shuleykin V.V. *Physics of the sea*. 990 p. (Moscow: AN SSSR, 1953) (in Russian).
14. Church J.A., White N.J. A 20th century acceleration in global sea-level rise. *J. Geophysical Research Letters*. **33** (1), L01602 (2006).
15. Fedorov V.M. Spatial and temporal variation in solar climate of the Earth in the present epoch. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic physics*. **51**(8), 779–791 (2015).
16. Giorgini J.D., Yeomans D.K., Chamberlin A.B., Chodas P.W., Jacobson R.A., Keesey M.S., Lieske J.H., Ostro S.J., Standish E.M., Wimberly R.N. JPL's On-Line Solar System Data Service. *Bulletin of the American Astronomical Society*. **28** (3), 1158 (1996).
17. <http://www.ipcc.ch/> – *Electronic resource of the International Panel of Experts on Climate Change*.
18. <http://ssd.jpl.nasa.gov>. – NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics) – *Electronic resource of the US National Aerospace Agency*.
19. <http://www.solar-climate.com> – *Electronic resource «Solar radiation and the Earth's climate»*.
20. Jevrejeva S., Grinsted A., Moore J. C., Holgate S. Nonlinear trends and multiyear cycles in sea level records. *J. Geophysical Research*. **111**, C09012 (2006).
21. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. *Geophysical Research Letters*. **37**, L01706 (2011).