Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 24

Научно-теоретический журнал

Издается с октября 2005 года
Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-2762

РГГМУ

Санкт-Петербург
2012

УДК 3 + 502.52 + 55
ББК 6/8 + 26.221 + 26.222 + 26.23

Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 24. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 176 с.

ISSN 2074-2762

Представлены статьи сотрудников университета и приглашенных специалистов по широкому спектру направлений научной деятельности университета.

Материал сгруппирован по специальностям. Главное внимание уделено проблемам изменения климата, физических процессов в морях, водохозяйственных исследований, экономических механизмов рационального природопользования. В разделе «Хроника» освещены основные события жизни университета.

Предназначен для ученых, исследователей природной среды, экономистов природопользования, аспирантов и студентов, обучающихся по данным специальностям.

Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal. Issue 24. – St. Petersburg: RSHU Publishers, 2012. – 176 pp.

The journal presents research papers of the University associates and invited specialists dealing with a broad range of directions in the scientific activities of the University.

The material is grouped according to areas of research. Much attention is given to problems of climate change, physical processes in the seas, water management studies, economic mechanisms of rational nature management. Section “Chronicle” highlights major events in the University’s life.

The journal is intended for scientists studying the environment, specialists in economics of nature management, PhD students and undergraduates specializing in these fields of knowledge.

Редакционная коллегия:
Главный редактор: Л.Н. Карлин, д-р физ.-мат. наук, проф.
Зам. главного редактора: В.Н. Воробьев, канд. геогр. наук.
Члены редколлегии: А.М. Владимиров, д-р геогр. наук, проф., Л.П. Бескид, д-р техн. наук, проф., В.Н. Малинин, д-р геогр. наук, проф., И.Г. Максимова, отв. секретарь, Н.П. Смирнов, д-р геогр. наук, проф., А.И. Угрюмов, д-р геогр. наук, проф., И.П. Фирова, д-р эконом. наук, проф.

ISSN 2074-2762

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Северо-Западному Федеральному округу.

Свидетельство ПИ № ФС2-8484 от 7.02.2007 г.

Специализация: метеорология, гидрология, океанология, геоэкология, геофизика, общественные и гуманитарные науки.

Подписной индекс 78576 в каталоге «Каталог российской прессы «Почта России».

Журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки http://elibrary.ru

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Адрес редакции: Россия, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
Тел.: (812) 444-81-55

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2012
© Авторы публикаций, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Гидрология

А.М. Владимиров, Н.Г. Малышева. Оценка вероятности появления гидрологической засухи 5

Е.В. Гайдукова. Определение усредненной климатической сценарной модели для долгосрочной оценки характеристик многолетнего речного стока 18

А.В. Сикан. Оптимизация параметров распределения при построении кривых обеспеченностей экстремальных расходов воды. 26

Н.В. Дьяченко. Гравитационно-капиллярные волны на наклонной поверхности жидкости 33

Метеорология

С.В. Махнорылова, А.И. Угрюмов. Формирование длительных аномалий температурного режима весенне-летнего периода на Европейской территории России под влиянием особенностей стратосферной циркуляции 38

Б.Н. Грудин, Б.Е. Ламаш, В.С. Плотников, Н.А. Смольянинов. Оценивание фрактальной размерности облачного покрова 54

Океанология

О.В. Хаймина, В.Д. Бойцов, И.П. Карпова. Вековые колебания климата морей северо-запада России 62

В.А. Белязо, А.А. Дмитриев. Циклические колебания ледовитости Южного океана и факторы их определяющие 75

В.А. Царев. Влияние штормового волнения на рельеф мелководной области Курортного района Санкт-Петербурга. 83

Экология

М.Е. Баранова, А.С. Гаврилов, К.Б. Чихачев. Результаты численного моделирования солевого загрязнения окружающей среды от выбросов испарительных градирен энергетических объектов 89

Ю.И. Скорик, Л.С. Венцюлис, А.А. Лебедева. Оценка риска загрязнения окружающей среды от отходов 93

А.В. Германова, Г.Т. Фрумин. Поступление биогенных элементов в Балтийское море со стоком трансграничных рек 100

Информационные технологии

М.А.Трубина, В.М.Сакович, В.Н. Абанников, Е.Г.Григорьева, Э.В. Подгайский. Формирование научно-методического обеспечения использования веб-технологий при подготовке профессиональных кадров 107

В.В. Денисов, М.В. Светлова. Применение SWOT-анализа в исследовании эколого-географического положения региона(на примере Мурманской области) 126

Д.А. Петренко, Д.В. Поздняков, Л.Х. Петтерссон, Л.Н. Карлин. Оценка адекватности алгоритмов дистанционного определения первичной продукции в Арктическом океане по данным SeaWiFS и MODIS-AQUA 137

Социально-гуманитарные науки

С.О. Никифорова. Обеспечение экологической безопасности как приоритетное направление государственного управления 162

Хроника 170

Список авторов 172

Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала 173

CONTENTS

Hydrology

A.M. Vladimirov, N.G. Malysheva. Estimation of the hydrological drought probability 5
E.V. Gaidukova. Definition of average climatic scenario model for a long-term estimation of the characteristics of a long-term river flow 18
A.V. Sikan. Optimization of the probability distribution function parameters for extreme water discharges 26
N.V. Djachenko. Gravity-capillary waves on the raking surface of the fluid 33

Meteorology

S.V. Makhnorylova, A.I. Ugryumov. Spring-summer thermal anomalies formation over European Russia caused by the stratospheric circulation 38
B.N. Grudin, B.E. Lamash, V.S. Plotnikov, N.A. Smolyaninov. Estimation of fractal dimension of cloud cover 54

Oceanology

O.V. Khaimina, V.D. Boitsov, I.P. Karpova. Secular variations in climate seas north-west Russia 62
V.A. Belyazo A.A. Dmitriev. The cyclical fluctuations of the Southern Ocean sea ice extent and factors, which determine them. 75
V.A. Tsarev. The influence of storm waves on the relief of the Resort District of St. Petersburg 83

Ecology

M.E. Baranova, A.S. Gavrilov, K.B. Tchikhatchev. Results of numerical simulation of salt pollution emissions from evaporative cooling tower of power objects 89
Y.I. Skorik, L.S. Ventsyulis, A.A. Lebedeva. Risk assesment of environmental waste pollution 93
A.V. Germanova, G.T. Frumin. Input of nutrients to the Baltic sea from international rivers 100

Information technologies

M. Trubina, V. Sakovich, V. Abannikov, E. Grigor'eva, E. Podgaysky. Formation of the scientific and methodical support web-technology for training of professional staff 107
V.V. Denisov, M.V. Svetlova. Application of SWOT-analysis in research of ecological and geographical position of the region: the Murmansk Region. 126
D.A. Petrenko, D.V. Pozdnyakov, L.H. Pettersson, L.N. Karlin. Assessment of the adequacy of algorithms of the retrieval of primary production in the Arctic from satellite ocean colour data. 137

Social science and humanities

S.O. Nikiforova. Securing of environmental safety as the priority direction of public administration. . . 162

Chronicle. 170

ГИДРОЛОГИЯ

А.М. Владимиров, Н.Г. Малышева

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАСУХИ

A.M. Vladimirov, N.G. Malysheva

ESTIMATION OF THE HYDROLOGICAL DROUGHT PROBABILITY

Систематизированы физико-географические и антропогенные факторы, создающие гидрологическую засуху. Исследованы методы оценки циклических колебаний стока воды, использования кривой истощения стока и даны соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: межень, засуха, пересыхание, циклические колебания, кривая истощения, площадь водосбора.

In this paper, physiographic and anthropogenic factors of hydrological drought are systemized. Methods to estimate the runoff oscillations and ways to use the runoff recession curve for are considered. Necessary recommendations are provided.

Key words: low flow, drought, overdrying, oscillations, recession curve, catchment area.

Появление гидрологической засухи связано с циклическими колебаниями климатических и гидрологических характеристик, которыми, прежде всего, являются температура воздуха и почвы, а также влагозапасы речного или озерного бассейнов, выражаемые расходом или уровнем воды. Многолетние колебания расходов воды рек в меженный период, отражаемый минимальным летним расходом воды, или колебания уровней воды озера за летний период межени за длительное многолетие показывают частоту появления наименьших за многолетие (минимальных) расходов или уровней воды. В этот период создаются условия для появления гидрологической засухи. Если очень маловодная межень повторяется, группируясь по нескольку лет, то вероятность появления гидрологической засухи приближается к 100 %.

Факторы, влияющие и определяющие возникновение и существование гидрологической засухи, можно систематизировать следующим образом, ранжируя по значимости: гидрогеологические, морфометрические, метеорологические и антропогенные. Если первые три фактора существуют независимо от человека, то четвертый фактор создан человеком. Поэтому его наличие, точнее составляющих этого фактора, наблюдается лишь в районах интенсивного развития промышленности и (или) сельского хозяйства, где происходит наибольшее водопотребление, особенно в период, когда на ре-

ках наблюдается летний меженный период. На рис. 1 представлена структурная схема основных факторов, способствующих появлению гидрологической засухи.

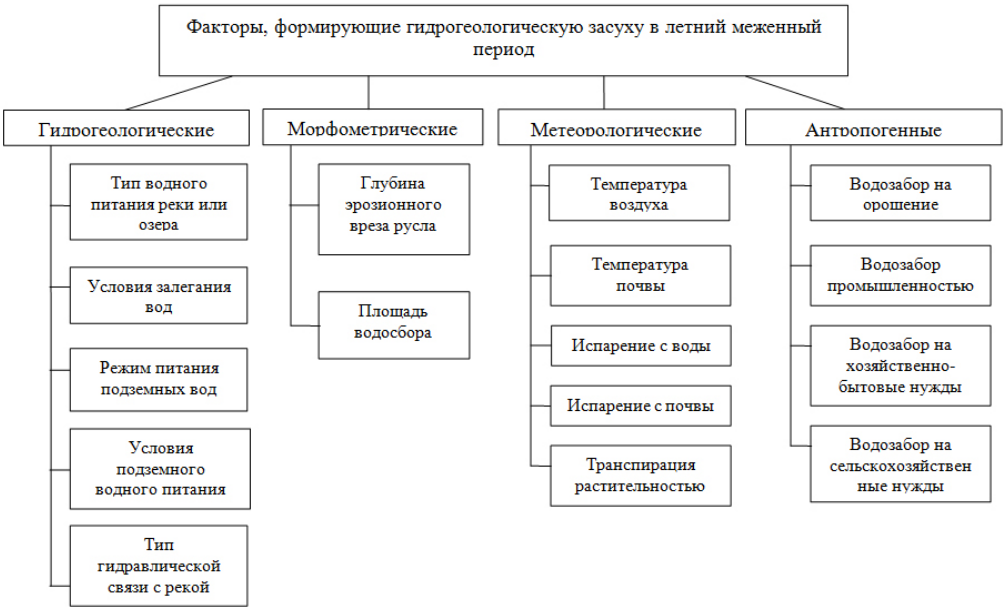


Рис.1. Структурная схема факторов, способствующих и создающих гидрологическую засуху в летний меженный период

В период засухи интенсивность снижения уровней воды в водных объектах зависит от количества подземных вод, поступающих в ложе конкретного объекта. Последнее связано как с гидрологическими, так и с метеорологическими факторами бассейна, определяющими пополнение водоносных горизонтов поверхностными водами и их сработку.

В меженный период в питании рек могут участвовать почвенные, почвенно-грунтовые, грунтовые и напорные воды. К почвенным водам относят скопления подземных вод, находящихся в пределах почвенной толщи и гидравлически не связанных с нижележащими водоносными горизонтами. Продолжительность существования этих вод меньше годового цикла изменения водности. Они не имеют сплошного распространения и их нередко называют верховодкой. Если почвенные воды имеют связь с грунтовыми водами и образуют единый гидравлически связанный водоносный горизонт, то они становятся почвенно-грунтовыми и могут распространяться по всей территории водосбора. Все подземные безнапорные воды, залегающие ниже почвенной толщи, гидравлически с ней не связанные и дренируемые речной и эрозионной сетью, относят к грунтовым водам. Если подземные воды заключены между водонепроницаемыми слоями пород и находятся под постоянным напором, то они относятся к артезианским и питают водотоки лишь в местах концентрированного выхода воды на поверхность водосбора.

Все вышеуказанные воды, кроме артезианских, находятся в зоне интенсивного водообмена. Они очень тесно связаны с поверхностными водами и их режим зависит от климатических условий территории, имея сезонное изменение водного режима водоносных горизонтов, особенно почвенных и почвенно-грунтовых. Их пополнение (питание) происходит за счет атмосферных осадков (снеготаяние, дожди) и частично при подпитывании из нижележащих глубоких водоносных горизонтов. Режим подземных вод глубоких водоносных горизонтов более устойчив, так как их питание происходит главным образом за счет глубокого просачивания воды при массовом ее поступлении на поверхность водосбора (весеннее снеготаяние, длительные и интенсивные дожди). Воды этой группы слабо реагируют на сезонные изменения климата.

Режим питания подземных вод тесно связан с режимом подземного питания рек и определяется характером гидравлической связи водоносных горизонтов с рекой.

Характер связи речных и подземных вод в предшествующий засухе период и при гидрологической засухе может происходить в двух направлениях – речные системы получают питание от подземных вод и русловые воды уходят на пополнение подземных вод. Первый случай наиболее общий и наблюдается как при отсутствии гидравлической связи речных и подземных вод, так и при ее наличии. Потери речных вод на питание подземных вод свойственны лишь отдельным участкам рек степной и полупустынной зон, а также отмечаются при особом геологическом строении территорий (карст, обратный уклон водоносных пластов).

Первичным фактором на пути исследования условий формирования гидрологической засухи является почвенный, поскольку он определяет процесс перевода выпадающих осадков в подземные воды. Почвы и прилегающие к ним грунты, т.е. почво-грунты, являются подземными аккумуляторами влаги. Они задерживают образующуюся на водосборе воду в период повышенной увлажненности (водности) и затем отдают ее в период маловодья. Тип почв, их механический состав определяют водопоглотительную способность водосбора. Чем больше порозность (пористость) почв, тем значительнее их водопроницаемость и водоотдача, но меньше водоудерживающая способность. Следовательно, высыхание почвы за счет испарения, транспирации воды растениями, а также стока воды происходит значительно быстрее при большой порозности почвы, и почвенная засуха наступает раньше, чем при относительно низкой порозности. Так, водоотдача песчаных или супесчаных почво-грунтов в пять раз превышает водоотдачу суглинистых или глинистых, что повышает сток рек в меженный период, но сокращает время сработки накопленных запасов подземных вод, что может привести к возникновению почвенной засухи на сельскохозяйственных полях.

При смене рыхлых и пористых пород на сцементированные или кристаллические слаботрещиноватые наблюдается резкое снижение величины подземного стока в реки при одинаковой увлажненности территории. Но при разной обводненности пород может наблюдаться обратная картина. Реки, бассейны которых сложены песками, могут иметь значительно меньшую величину стока, чем реки, протекающие в плотных, но пористых или трещиноватых породах (например, известняках).

Плотные глинистые или монолитные кристаллические породы, залегающие вблизи поверхности, уменьшают регулирующую емкость бассейна, приводя к сни-

жению величины подземного стока в реки в несколько раз, что способствует возникновению не только почвенной, но и гидрологической засухи.

Особое положение в категории почв занимают торфяные (торфяники). Влагоемкость торфа чрезвычайно большая. В местах их залегания малые водотоки имеют дополнительное питание из торфяной толщи водами, притекающими с повышенных участков водосбора и концентрирующихся в торфяной толще. Это повышает сток в начале меженного периода, а при большом количестве торфяников и значительной мощности торфяных горизонтов (несколько метров) повышается и минимальный сток. Следовательно, в период засухи ее проявление на водотоки будет сказываться слабее. Однако на территории осушенных торфяников их высыхание происходит довольно быстро при высоких температурах воздуха и отсутствии подпитывания из нижележащего горизонта. Это приводит к более резкому проявлению засухи на рассматриваемой территории и возникновению торфяных пожаров.

Наибольшее значение характер почво-грунтов бассейна и его обводненность имеют для малых рек, получающих питание из верхних водоносных горизонтов, начиная с верховодки. Поэтому гидрологическая засуха начинается с высыхания водотоков в их истоках, включая высыхание родников. Это характерно для равнинных рек. В горных районах, наоборот, верховья рек находятся на больших высотах и имеют большее увлажнение, а при выходе на равнину увлажненность водосбора резко падает, особенно в зоне недостаточного увлажнения.

Гидрогеологические условия бассейна реки или озера определяют его водосодержание и условия водоотдачи в речную сеть. При этом количество водоносных горизонтов, прорезаемых руслом реки, и глубина вскрытия последнего водоносного горизонта (или единственного) зависят от глубины эрозионного вреза русла реки в поверхность водосбора. Чем больше смоченный периметр русла, тем больше подземной воды получает река. При наличии прямой гидравлической связи водоносного горизонта с речным руслом увеличение смоченного периметра происходит при возрастании глубины эрозионного вреза русла в водоносный пласт. Одновременно рост последней по длине реки приводит к вскрытию дополнительных водоносных горизонтов. Прорезав в верховьях один водоносный горизонт, ниже по течению река начинает дренировать еще один или несколько горизонтов подземных вод. Таким образом происходит увеличение размеров подземного бассейна и соответственно поверхностного водосбора, обусловленное увеличением длины русла реки. Но если первый от поверхности водоносный горизонт иссякает, то верховья реки начинают высыхать и соответственно начинает формироваться гидрологическая засуха, усиливающаяся с развитием истощения следующих водоносных горизонтов. При этом увеличение глубины эрозионного вреза русла не всегда ведет к увеличению речного стока. При смене вниз по течению реки истощающихся водообильных горизонтов на слабообводненные величина подземного стока в реку быстро сокращается и модуль стока уменьшается, что усиливает гидрологическую засуху.

Размеры поверхностного водосбора непосредственно связаны с величиной питания подземных вод, особенно из верхних водоносных горизонтов почвенно-грунтовой толщи. Развитие подземного бассейна по площади определяется ростом площади поверхностного водосбора. Границы поверхностного и подземного водоразделов в боль-

шинстве случаев совпадают. Исключения составляют карстовые районы, районы с наличием артезианского питания и другими аномальными явлениями. Как расчетная характеристика, площадь поверхностного водосбора является наиболее легко определяемым параметром при построении расчетных формул. Она рассматривается как параметр, являющийся интегральным показателем морфометрических, гидрологических и гидрогеологических условий формирования речного стока.

Однако оценка надежности определения площади поверхностного водосбора в значительной мере зависит от масштаба карты и способа определения этой площади. Представленные в гидрологических справочниках (Гидрологические ежегодники, Справочники по водным ресурсам) данные о площадях водосборов для замыкающих гидростворов в 60-70-е годы XX в. определялись в большинстве случаев с помощью планиметров. Это был период составления Справочников по водным ресурсам в масштабах СССР и с тех пор практически не уточнялись. Однако чем извилистее граница водосбора, тем вероятнее погрешность определения длины границы водосбора, его периметр. То же происходит и при уменьшении масштаба карты, хотя последнее ведет и к уменьшению длины линии водораздела. Поэтому существующие данные о площадях водосборов необходимо уточнять, используя современные топографические данные, базирующиеся на спутниковой информации, и применяя метод фракталов, учитывающий пространственно-временные масштабы линии измерения.

Использование теории фракталов позволяет повысить надежность измерения не только длин, но и площадей водосборов рек и озер.

Связь между площадью A и периметром $П$ можно описать уравнениями вида $П = в_1 A^a$, где a – фрактальная размерность, $в$ – константа.

Целесообразно отметить, что количественные значения фрактальной размерности при производстве измерений длин в пределах от 1 (для прямой) до 2 (для максимально изломанных линий), находятся в тех же пределах, что и коэффициент извилистости (наибольший до 1,73), использовавшийся и используемый при гидрологических расчетах с очень давних времен в условиях СССР и России.

Роль площади водосбора в формировании стока воды, а следовательно, и гидрологической засухи весьма велика. Прежде всего как показатель территории с наличием и отсутствием не только поверхностного, но и подземного стока. Количественной оценкой обычно служит модуль стока q, показывающий величину стока с единицы площади A, т.е. существует связь $q = f(A)$. Однако при исследовании этой связи всегда упускается одна существенная особенность этой функции. Использование модуля стока правомерно только для тех замыкающих створов, площадь бассейна которых на три четверти и более состоит из площади одного (или главного) ствола реки. Если же площадь бассейна образована за счет слияния приблизительно равных или относительно близких по величине рек, то модуль стока не будет отражать влияние площади бассейна. Это объясняется тем, что при одинаковых условиях формирования стока на двух соседних реках, близких по размеру площади бассейна, после их слияния останется тот же модуль стока, а общая площадь увеличится вдвое, что вызовет нарушение связи, т.е. резкое отклонение точки связи вправо. Поэтому чем меньше разница в величине площади бассейна между сливающимися реками, тем дальше от кривой связи будет лежать соответствующая точка. При слиянии рек одно-

го порядка площадь водосбора будет практически удваиваться, а модуль оставаться неизменным. При недостаточной освещенности территории гидрологическими наблюдениями это приводит к получению ложной зависимости, причем разного вида, что наглядно представлено на рис. 2.

При достаточно детальном изучении водосбора, представленном на рис. 2 (*а*) и 2 (*б*), учитывая вышесказанное, линия связи пройдет по точкам без учета точек под номерами 3 и 6 для рек одного порядка. Однако подобное количество пунктов наблюдений редко встречается на практике.

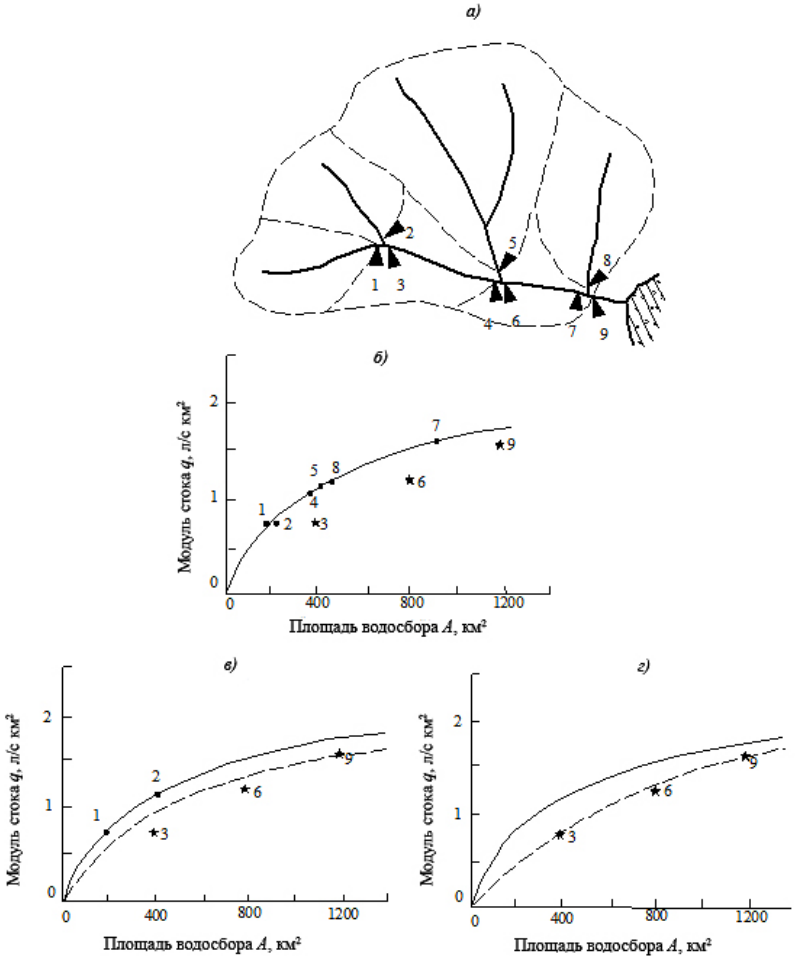


Рис. 2. Гипотетическая схема речного водосбора с сетью гидрометрических постов и зависимости $q = f(A)$ для трех случаев разного их наличия.

а – схема расположения гидрологических постов на водосборе; *б* – график связи $q = f(A)$ при полной освещенности гидростворами; *в* - при частичной освещенности гидростворами; *г* – при наличии гидростворов только на относительно больших реках

На рис. 2 (*в*) рассмотрен случай при частичном освещении водосбора пунктами наблюдений. Он показывает, что автоматическое осреднение точек связи с учетом точек 3 и 6, что обычно и делают, занижает данные о коэффициенте корреляции и, главное, уменьшает значения модулей стока на 15-25 % в зоне наибольшего изгиба кривой. Еще большее уменьшение стока в этой зоне (до 40 %) происходит в случае использования данных только по пунктам 3, 6 и 9, что представлено на рис. 2 (*г*). При этом данные пункта 9 могут быть отнесены уже к характерному значению модуля стока для рассматриваемой климатической зоны, когда линия связи переходит в горизонтальную, т.е. модуль становится зональным.

Рассмотренные случаи можно описать следующими равенствами [у букв указаны номера створов на схеме рис. 2 (*а*)]:

– до слияния двух рек – $A_1 \approx A_2$, $q_1 \approx q_2$, $Q_1 \approx Q_2$;
– после слияния двух рек – $A_3 = A_1 + A_2$, $q_3 \approx q_1 \approx q_2$ и $Q_3 = Q_1 + Q_2$.

На графиках $q = f(A)$ и $Q = f(A)$ точка модуля смещается только вправо, а точка расхода – вправо и вверх в соответствии с реальным изменением стока с увеличением площади.

Изложенное объясняет причину зачастую малой или вообще отсутствующей корреляции модуля стока с площадью водосбора, усугубляющуюся еще и тем, что количество пунктов наблюдения за стоком малых рек обычно несопоставимо мало по сравнению со средними реками, особенно после резкого сокращения пунктов наблюдений на сети Гидрометслужбы за последние 20 лет.

Исследование зависимостей $Q=f(A)$ имеет большое значение при изучении гидрологической засухи, поскольку позволяет определить площадь с отсутствием стока в меженный период. График связи строится для относительно однородных по климатическим условиям районов. При построении графиков связи могут быть использованы данные о минимальных расходах воды. Вид связи описывается известным уравнением, разработанным А.М. Владимировым еще в XX в.:

$$Q_n = b\,(A - A_1)^{m}, \qquad (1)$$

где b – средний районный единичный модуль стока; A_1 – площадь водосбора с отсутствием стока; Q_n – минимальный расход воды, средний за календарное время n (сутки, декада и др.); m – районный коэффициент.

Размер A_1 показывает площадь с отсутствием стока в течение выбранного времени (сутки, неделя, декада и др.), является средним по району и средним за многолетие. Для условий России его значение может достигать 800-1000 км^2 (Приазовье, Нижний Дон) при исследовании минимального 30-суточного стока.

Параметр A_1 характеризует площадь ежегодного пересыхания малых рек, что естественно в зоне недостаточного увлажнения, поэтому он не всегда говорит о гидрологической засухе. Однако при возникновении атмосферной и почвенной засух вероятность возникновения гидрологической засухи при наличии параметра A_1 становится очень большой, а размеры A_1 резко увеличиваются.

Рассмотренные гидрогеологические и морфометрические факторы, способствующие возникновению гидрологической засухи, могут быть дополнены метеорологиче-

скими, к которым относятся температура воздуха и почвы, а также испарение с воды, почвы и транспирация влаги растительностью. Эта группа факторов взаимозависима и чем больше значения их величин, тем вероятнее возникновение гидрологической засухи.

Высокие температуры воздуха и почвы повышают испарение с поверхности водосбора и увеличивают продолжительность гидрологической засухи, поскольку усиливают истощение водного бассейна реки или озера. Чем глубже это истощение, тем сильнее проявление засухи. Слабое пополнение бассейна водой в многоводную фазу (осенью этого года и весной следующего года) ведет как минимум к малой водности меженного периода следующего года и возможности повторения гидрологической засухи в случае возникновения аналогичной атмосферной ситуации. При этом продолжительность, как и глубина гидрологической засухи, может быть еще значительнее.

Наличие на водосборе реки объектов, связанных с использованием поверхностных и подземных вод (водозаборы из рек и озер, водозаборные скважины), ведет к дополнительному истощению водных ресурсов бассейна реки или озера или того и другого. При интенсивном водопользовании может происходить истощение запасов самых глубоких горизонтов подземных вод. В подобных случаях происходит пересыхание рек со значительно большими площадями водосборов, чем выше указанные. При этом начинается использование вековых запасов подземных вод, что грозит всеобщему усыханию района.

В начальный период формирования засухи влажность почв становится очень низкой, верховодка исчезает, поэтому реки питаются только нижележащими водоносными горизонтами разной мощности и глубины залегания. В связи с этим фактор влажности почво-грунтов (верхней части бассейна) отсутствует.

Метеорологические и антропогенные факторы имеют лишь отрицательное значение для речного стока, усиливая засуху и увеличивая ее продолжительность при длительном стоянии высоких температур и отсутствии осадков.

При оценке водности года основную роль играет многоводная фаза стока (половодье, паводки). Вклад меженного стока весьма небольшой. При постоянном подземном питании больших рек многолетие колебания меженного стока могут не соответствовать или не полностью соответствовать колебаниям суммарного годового стока. Точно также колебания малых рек имеют более резкие колебания меженного стока по сравнению со средними реками. Поэтому исследование циклических колебаний стока следует производить по данным о стоке средних рек, наиболее соответствующим зональным колебаниям климата. Учитывая, что в период летней межени наблюдается минимальный сток, формирующийся подземными водами, исследования целесообразно осуществлять по данным о наименьших средних за 30 суток расходах воды как наиболее надежной стоковой характеристике по сравнению с минимальным суточным стоком, в котором вероятность случайной ошибки является наибольшей как при гидрометрических измерениях, так и при обработке полученных данных.

С целью выявления маловодных циклов используют разные методы. Наиболее простой – построение графика ежегодных колебаний стока или уровней воды за период наблюдений. Для этого требуется период наблюдений максимальной длины. Исследование совмещенных хронологических графиков, представленных на рис.3, показывает периоды с наименьшими расходами воды. При построении указанных

графиков необходимо помнить, что их вид может существенно отличаться на малых и больших реках. Это связано с различием климатических условий по бассейну реки. Верхняя часть водосбора может находиться в более увлажненных условиях, чем нижняя (например, реки Дон, Волга, Кама). Соответственно и маловодный период может меняться по времени на притоках верхних и нижних частных водосборов. Наибольшая разница будет наблюдаться на малых водосборах как наиболее чувствительных к динамике колебаний.

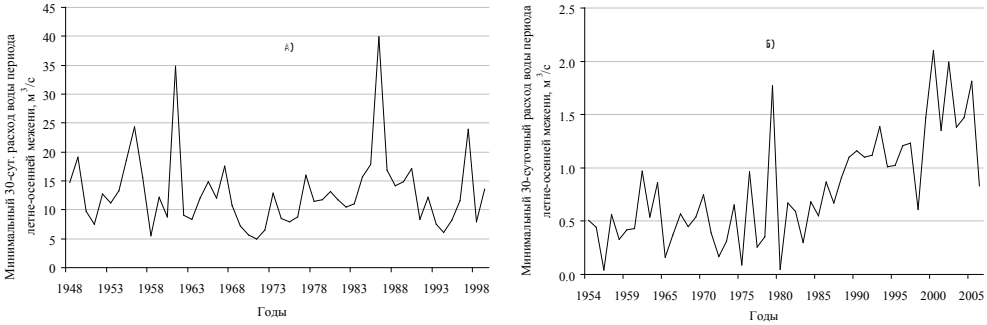


Рис. 3. Хронологические графики минимальных 30-суточных расходов воды периода летне-осенней межени *а* – р. Великая - г. Опочка A=3500 км^2; *б* – р. Вад - с. Вадинск A=527 км^2

Совмещенные хронологические графики показывают циклы разной длительности – от двух-трех до десятков лет. Цикл, например маловодья, сменяется затем многоводьем. Однако в период этого маловодья могут появляться короткие циклы относительного многоводья (2-4 года). Они могут затушевывать смену периода общего большого цикла маловодья на многоводный период. Поэтому вместо совмещенных хронологических графиков нередко применяют тоже хронологический график, но скользящих средних. В этом случае производят сглаживание эмпирических данных, т.е. заменяют исходные данные осредненными по группам из трех или пяти данных, скользящих по имеющемуся ряду.

Например, ряд расходов воды сглаживают путем осреднения Q_1, Q_2, Q_3 и получая $\tilde{Q}$. При постоянном шаге сглаживания оно происходит по формуле:

$$\tilde{Q}_i = \frac{1}{T}\sum_{K_1}^{K_i} Q_{i+K} \ , \qquad (2)$$

где $\tilde{Q}$ – сглаженное значение i-го члена; T – интервал сглаживания.

В этом случае сглаживаются отдельные маленькие циклы, но размываются границы больших циклов.

Наиболее часто в гидрологической практике применяют разностные интегральные кривые или суммарные кривые отклонений ежегодных значений стока от среднего значения за весь период наблюдений с учетом его изменчивости (вариации) за рассматриваемый период, описываемые уравнением:

$$T = \frac{\sum_{1}^{n}(K_i - 1)}{C_v}, \qquad (3)$$

где k – модульный коэффициент стока; C_V – коэффициент вариации за период T.

На рис. 4 показаны примеры разностных интегральных кривых, на которых достаточно четко видны маловодные и многоводные фазы стока. Исследования циклических колебаний стока целесообразно осуществлять совместно с исследованием основных параметров водного баланса, т.е. осадков и испарения (или испаряемости), а также связанной с последним температурой воздуха. Такими индексами являются соотношение осадков и испаряемости, показывающее соотношение тепла и влаги в рассматриваемой климатической зоне, в данном регионе или речном бассейне. Их значения связанны с коэффициентом стока воды. Наиболее широко используется индекс сухости, связывающий годовую испаряемость E_0 с годовыми осадками P за многолетний период, т.е. E_0 / P.

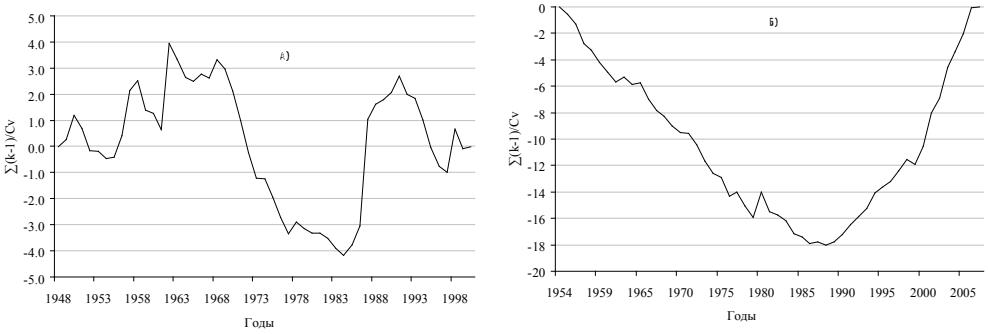


Рис. 4. Разностно-интегральные кривые минимальных 30-суточных расходов воды периода летне-осенней межени

а – р. Великая - г. Опочка A=3500 км^2; *б* – р. Вад - с. Вадинск A=527 км^2

Кроме индекса сухости, для исследования циклических колебаний может быть использовано соотношение P/E_0 (индекс Иванова) и соотношение $P/(t+10)$, где t – температура воздуха (индекс Де-Мартона).

Однако все указанные индексы базируются на учете осадков, которые в период формирования любой ранее рассматриваемой засухи отсутствуют. Поэтому в данном случае они не применимы.

Использование интегрально-разностных кривых позволяет выявить маловодный период, но не год с наименьшим стоком. Этот год может находиться на интегральной кривой выше последнего года, показывающего прекращение маловодной фазы в результате суммирования отрицательных значений модульных коэффициентов. А для определения лет с наименьшими расходами (или уровнями) воды наиболее подходят хронологические графики колебаний стока, совмещенные за единый период наблюдений на рассматриваемой территории, построенные для одинакового типа рек или озер – малые, средние или большие. При этом любой тип водного объекта должен

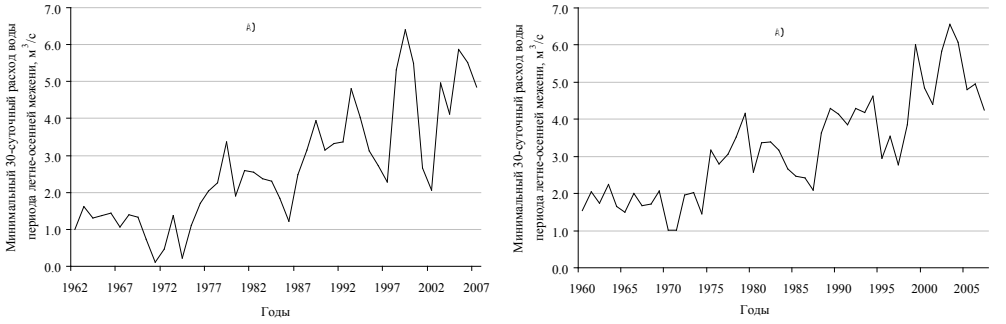
находиться в одной климатической зоне и иметь сходный по морфологии рельеф – равнинный, полугорный, горный.

При анализе семейства нормированных интегральных разностных кривых колебаний стока необходимо, чтобы был единый период наблюдений, одинаковый тип водного объекта и сходная морфология водосбора.

Эти кривые целесообразно использовать при определении маловодных периодов на водных объектах, в которых может произойти гидрологическая засуха.

Систематизация факторов, формирующих сток в маловодный сезон года [1], свидетельствует о сложности условий его возникновения, о преобладании синфазности над синхронностью, а также о наличии районов с противоположными (асинфазными) колебаниями стока в меженный период. В самом общем виде П.С. Кузиным в 1970 г. [2] было сделано районирование территории СССР по инфазным циклическим колебаниям меженного стока рек. На территории СССР было выделено всего 15 районов с однородными колебаниями меженного стока, но разным характером синфазности, из которых в трех районах на Европейской территории и в одном на Азиатской территории СССР (бассейн р. Оби) периодически бывают засухи. В пределах одного района циклические колебания меженного стока достаточно синфазны, что иллюстрируется на рис. 5.

а)



б)

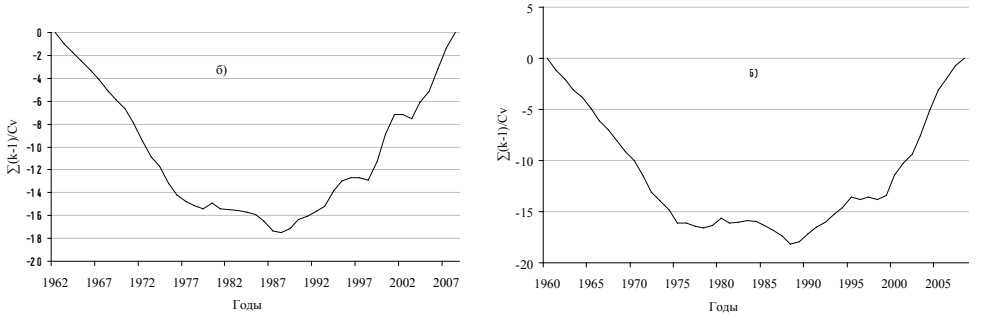


Рис. 5. Циклические колебания меженного стока
а – хронологические графики 30-суточных расходов воды периода летне-осенней межени р. Выша - пос.10-й Октябрь F=2190 км^2 (слева) и р.Атмисс - с.Атмисс F=2310 км^2(справа);
б – разностно-интегральные кривые р. Выша - пос.10-й Октябрь F=2190 км^2 (слева) и р.Атмисс - с.Атмисс F=2310 км^2(справа).

Однако от района к району меняются сроки наиболее маловодного меженного периода вплоть до асинфазности. Такой характер циклических колебаний стока рек в наиболее маловодный меженный период обусловливает разновременность появления засух на обширных территориях. Например, в 1931-1960 гг. был длительный маловодный период с засухами 30-40-х годов на реках юго-запада ЕТС, а в 1941-1947 гг. наблюдалась многоводная межень на реках юго-востока ЕТС.

К сожалению, исследования П.С. Кузина базировались на относительно коротких рядах (до 40 лет). Они закончились в 1960 г. и требуют продолжения в отношении последующих 50 лет. Выявление синфазности, а тем более синхронности, колебаний летнего минимального или меженного стока за более длительный период позволяет определить возможность появления гидрологических засух в ближайшем будущем.

Как уже сказано ранее, засухи связаны с движением воздушных масс, формирующих стационарные глубокие антициклоны. И хотя их пути могут ежегодно несколько меняться, как и их мощность, но среднемноголетнее положение сохраняется довольно постоянно, что подтверждают типы атмосферной циркуляции по Г.Я. Вангенгейму, а также наличие зональности климата, выражающееся в зональном распределении осадков и температур воздуха в разных климатических зонах и сезонах.

Вариации климатических характеристик во времени и по территории, как и гидрологических, имеют неправильный периодический характер колебаний. Поэтому целесообразно одновременно анализировать интегральные кривые температур, испарения, осадков и стока за период летней межени.

При исследовании возможности возникновения гидрологической засухи большое значение имеет расчет кривой спада стока воды в русле реки в меженный период. Исследованием кривых спада, или кривых истощения речного стока, занимались многие гидрологи. Кривая истощения описывалась уравнениями параболического, гиперболического или экспоненциального вида. Наиболее часто применяется экспоненциальное уравнение Буссинеска для неустановившегося движения подземных вод при условии, что мощность водоносного комплекса является постоянной. Это уравнение имеет вид:

$$Q_t = Q_0 e^{-at}, \qquad (4)$$

где Qt и Qo – расходы воды в конечный и начальный моменты времени соответственно; a – коэффициент истощения; t – продолжительность расчетного интервала.

Для небольшого по мощности водоносного комплекса Буссинеском предложено уравнение гиперболического вида:

$$Q_t = Q_0 / (1 + вt)^2, \qquad (5)$$

где $в$ – коэффициент истощения.

Уравнение (5) целесообразно применять, когда связь последующего и предыдущего расходов воды является прямолинейной и проходит через начало координат.

Уравнение (4) применяется, когда связь не линейна. При этом произведения *at* и *вt* дают практически одинаковые результаты, если они будут меньше единицы.

Кривая истощения стока строится по данным наблюдений за годы, имеющие в данном случае наибольший меженный период в летний сезон. Учитывая, что в длительный меженный период происходит наибольшее истощение стока, имеющее плавный характер, т.е. прямолинейный, целесообразно применять уравнение (5). Коэффициенты истощения могут меняться при смене водоносных горизонтов, т.е. при переходе реки из одних гидрогеологических условий в другие. Кривая истощения может уточняться путем использования данных гидрометрических съемок в период межени и решения уравнения руслового водного баланса, имеющего следующий вид:

$$\Delta Q = Q_н - Q_в - \Sigma Q_{б.пр.}, \qquad (6)$$

где $Q_н$ – расход воды в нижнем створе; $Q_в$ – расход воды в верхнем створе; ΔQ – приращение расхода воды за счет притока подземных вод между створами; $Q_{б.пр}$. – расход воды за счет боковой приточности между створами.

При появлении признаков гидрологической засухи ΔQ стремится к нулю на малых реках и в расчетах используется формула (2), позволяющая определить площадь с отсутствием стока, если за практически отсутствующий принять расход воды, равный 0,001 л/с.

Литература

1. *Владимиров А.М.* Факторы формирования экстремального стока в маловодный сезон. – СПб., Ученые записки РГГМУ, 2008, № 7, с. 13-22.
2. *Кузин П.С.* Циклические колебания стока рек Северного полушария. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 179 с.

Е. В. Гайдукова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСРЕДНЕННОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СЦЕНАРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЛЕТНЕГО РЕЧНОГО СТОКА

E. V. Gaidukova

DEFINITION OF AVERAGE CLIMATIC SCENARIO MODEL FOR A LONG-TERM ESTIMATION OF THE CHARACTERISTICS OF A LONG-TERM RIVER FLOW

Рассмотрена методика определения климатической сценарной модели, характеризующей усредненные условия формирования максимального стока весеннего половодья на примере Арктической зоны России. Выявлено, что для рассматриваемой территории таковой является модель UKMO-HadCM3 сценария SRB1.

Ключевые слова: климатические сценарии, долгосрочный прогноз, максимальный сток весеннего половодья, Арктическая зона России.

The technique of definition of the climatic scenario model describing average conditions of formation of the maximal flow of a spring high water on an example of the Arctic zone of Russia is considered. Is revealed, that for considered territory those is model UKMO-HadCM3 of the scenario SRB1.

Key words: the climatic sceneries, long-term forecast, maximal flow of a spring high water, Arctic zone of Russia.

Введение

При долгосрочной оценке гидрологических последствий изменения климата с использованием стохастических моделей [1, 2, 3] в качестве внешнего воздействия задаются нормы метеорологических характеристик, определяемые по выбранному климатическому сценарию. В настоящее время на сайте Интернет Всемирной метеорологической организации (ВМО) для всеобщего использования прилагается семь сценариев, в каждом из которых 23 модели. Возникает проблема выбора усредненной климатической сценарной модели для целей долгосрочного прогнозирования статистических характеристик многолетнего стока. В статье рассмотрена методика выявления климатического сценария с моделями сценарной модели, характеризующей усредненные условия формирования максимального стока весеннего половодья на примере Арктической зоны России.

Методика исследований

На кафедре гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ разработана методика долгосрочной оценки статистических характеристик речного стока при изменении климата. Она подробно описана в работах [1,2], но в данной статье использовался упрощенный вариант методики, адаптированный к практическому применению [3].

Адаптация заключается в ряде допущений, сделанных в отношении системы уравнений для моментов, аппроксимирующих модель формирования стока в виде уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова. Оно приведено к виду, справедливому для стационарных случайных процессов (уравнение Пирсона, но с коэффициентами, непосредственно связанными с факторами формирования стока). Были сделаны следующие допущения: 1) использовалось фиксированное отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации; 2) процесс формирования многолетнего стока рассматривался как статистически стационарный, так как сами климатические сценарии предполагают метеорологические характеристики на определенный временной промежуток в несколько десятилетий статистически стационарными. Поэтому для оценки гидрологических последствий изменения климата для рек использовалась следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} &-\bar{c}m_1 + \bar{N} = 0, \\ &-2\bar{c}m_2 + 2\bar{N}m_1 + G_{\tilde{N}} = 0, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $\bar{c}$ – математическое ожидание параметра, обратного коэффициенту многолетнего стока; m_1, m_2 – первый и второй начальные моменты, зная которые можно определить норму и коэффициент вариации стока; $\bar{N}$ – норма осадков; $G_{\tilde{N}}$ – интенсивность белого шума осадков.

В системе (1) отсутствует интенсивность $G_{\tilde{n}}$ белого шума параметра c, так как она приравнивалась нулю. Такой подход обеспечивает относительную устойчивость решения применяемой модели формирования стока и в настоящем и в будущем климате.

Выявление климатического сценария, характеризующего усредненные условия формирования максимального стока весеннего половодья

Арктическая зона России занимает территорию с различными физико-географическими условиями формирования максимального стока весеннего половодья. Поэтому были выбраны три репрезентативные гидрологические станции, расположенные в Северном крае, Западной Сибири и Восточной Сибири: р. Уфтюга – д. Ярухино (площадь водосбора 3540 км^2), р. Щучья – д. Щучье (площадь водосбора 10 600 км^2), р. Бохапча – 5,4 км от устья (площадь водосбора 13 600 км^2). Координаты этих станции соответственно (широта, долгота): 61.72°, 46.72°; 67.21°, 68.76°; 62.10°, 150.67°.

База данных по сценарным нормам метеовеличин была сформирована с использованием сайта ВМО http://www.ipcc-data.org [4]. В работе использованы сценарии четвертого доклада [4]: 1PTO2X, 1PTO4X, COMMIT, PICTL, SRA1B, SRA2, SRB1. Сценарий 1PTO2X прогнозирует увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере до двойной по сравнению с 1990 г. Сценарий 1PTO4X отличается тем, что концентрация парниковых газов увеличится в четыре раза. По сценарию COMMIT скорость изменения концентрации парниковых газов останется такой же, как в XX веке. Сценарий PICTL указывает на то, что концентрация парниковых газов вернется к значению, соответствующему 1990 г. Сценарий SRA1B соответствует быстрому экономическому и технологическому росту, который приведет к снижению концен-

трации парниковых газов к середине XXI столетия. По сценарию SRA2 тоже происходит экономический рост, но локальный, не приводящий к снижению уровня концентрации парниковых газов. Сценарий SRB1 похож на сценарий SRA1B; отличается только скоростью роста экономики и технологий.

В табл. 1 представлены сценарные нормы климатических характеристик (осадков и температуры воздуха) на 2060 г. (у некоторых моделей отсутствуют прогнозные значения – прочерки в ячейках таблицы).

Для водосбора р. Уфтюга – д. Ярухино максимальные различия в значениях норм осадков наблюдаются в моделях BCC-CM1 и ECHAM5/MPI-OM по всем сценариям, а по температуре – в моделях GFDL-CM2.0 и BCC-CM1. При оценке общей картины можно отметить, что по всем сценариям происходит незначительное изменение норм осадков в этом бассейне. Температура же меняется значительно, особенно это заметно для сценариев PICTL и COMMIT.

Сценарий PICTL по всем моделям прогнозирует похолодание, хотя норма осадков отличается от современной в среднем на 12 %.

Больше всего рабочих прогнозных моделей у сценария SRA1B. Модели этого сценария прогнозируют как потепление, так и похолодание. Модели CCSM3 и PCM прогнозируют примерно одинаковые нормы осадков, а температура отличается на 5,5 °С. Этот пример показывает, что при прогнозе гидрологических характеристик следует учитывать не только прогнозные осадки, но и температуру, от которой зависят потери осадков на водосборах (испарение).

Последние два сценария SRB1 и SRA2 похожи по численным значениям норм осадков и температуры.

Для водосбора р. Щучья – д. Щучье по сценарию 1PTO2X по пяти моделям прогнозируется потепление, т. е. прогнозная норма приземной температуры больше настоящей нормы температуры. Норма осадков мало изменится на 2060 г., исключая прогнозную норму по модели BCC-CM1.

Сценарий 1PTO4X похож на сценарий 1PTO2X, некоторые модели даже дают одинаковые прогнозные значения и осадков, и температуры.

По сценарию COMMIT происходит похолодание с небольшим, в основном, увеличением норм осадков. А по сценарию PICTL произойдет еще большее похолодание с еще меньшим изменением осадков.

Три «политических» сценария SRA1B, SRA2 и SRB1 схожи по концепции прогноза ожидаемых изменений климата, и в таблице значения климатических характеристик мало отличаются друг от друга. Выпадают из общей картины только модели CCSM3 и BCC-CM1. По ним прогнозируется увеличение температуры воздуха и уменьшение нормы осадков.

Для бассейна р. Бохапча – 5,4 км от устья по всем сценариям прогнозируется значительное увеличение нормы осадков и незначительное изменение нормы приземной температуры, в основном в сторону увеличения, т. е. потепление. Разница между фактическими и прогнозными нормами осадков по сценариям 1PTO2X и SRA1B достигает примерно 900 мм/год. Максимальное отличие между нормами температур составляет 13 °С; оно прогнозируется по модели BCC-CM1.

Таблица 1

Нормы среднегодовых осадков и температуры приземного воздуха на 2060 г.

	Scenario 1PTO2X		Scenario 1PTO4X		Scenario COMMIT		Scenario PICTL		Scenario SRA1B		Scenario SRA2		Scenario SRB1	
Модель	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C
р. Уфтюга – д. Ярухино ($N_{факт}$ =583 мм/год, $T_{факт}$ = 1,1 °C)														
BCC-CM1	68	4,9	58	5,1	–	–	–	–	–	–	–	–	192	5,0
BCCR-BCM2.0	581	-2,9	–	–	570	-3,9	570	-5,9	592	-1,7	–	–	591	-3,0
CCSM3	–	–	–	–	745	2,4	–	–	781	4,5	766	4,2	742	3,5
CGCM3.1(T47)	590	-1,5	718	1,8	–	–	483	-5,6	595	-1,2	–	–	–	–
CGCM4.1(T63)	–	–	–	–	–	–	–	–	606	-0,4	–	–	577	-1,1
CNRM-CM3	662	0,0	742	2,6	643	-1,3	–	–	734	1,0	684	0,8	–	–
CSIRO-MK3.0	632	-2,8	–	–	657	-3,3	–	–	656	-2,1	665	-1,9	639	-2,3
ECHAM5/MPI-OM	927	3,4	–	–	–	–	–	–	893	1,7	845	1,5	840	1,3
ECHO-G	782	1,5	772	0,9	651	-2,7	596	-5,7	721	0,3	742	0,4	–	–
FGOALS-g1.0	–	–	–	–	662	-3,8	690	-3,6	697	-1,4	–	–	681	-2,4
GFDL-CM2.0	643	-4,4	653	-4,6	638	-4,6	668	-7,1	720	-2,0	695	-2,2	711	-2,8
GFDL-CM2.1	620	-2,7	620	-2,7	627	-2,5	613	-4,2	711	0,4	703	-0,5	649	-0,6
GISS-AOM	–	–	–	–	–	–	728	-4,8	800	-1,5	–	–	748	-2,1
GISS-EH	478	-1,8	–	–	–	–	–	–	450	–	–	–	–	–
GISS-ER	543	-2,7	–	–	442	-4,5	–	–	–	–	480	-3,0	455	-3,4
INM-CM3.0	767	2,1	895	5,5	756	0,2	650	-2,1	808	2,6	819	2,6	771	1,9
IPSL-CM4.0	625	-0,5	666	3,3	592	-3,2	583	-5,4	637	0,2	642	0,1	602	-0,6
MIROC3.2(hires)	653	2,7	–	–	–	–	–	–	684	5,2	–	–	677	4,4
MIROC3.2(medres)	647	0,9	647	0,9	612	-0,3	–	–	645	2,6	641	2,3	645	1,6
MRI-CGCM2.3.2	–	–	–	–	577	-3,2	558	-3,9	658	-1,2	629	-1,5	608	-1,9
PCM	–	–	–	–	–	–	–	–	780	-1,1	777	-0,5	–	–
UKMO-HadCM3	–	–	–	–	613	-3,7	585	-4,5	673	-0,7	641	-0,8	659	-1,6
UKMO-HadGEM1	–	–	–	–	–	–	724	-2,0	774	3,3	781	3,2	–	–

Продолжение таблицы 1

	Scenario 1PTO2X		Scenario 1PTO4X		Scenario COMMIT		Scenario PICTL		Scenario SRA1B		Scenario SRA2		Scenario SRB1	
Модель	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C
р. Щучья – д. Щучье ($N_{факт}$ =387 мм/год, $T_{факт}$ = – 6,1 °C)														
BCC-CM1	45	1,3	39	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	109	1,9
BCCR-BCM2.0	365	-12,7	–	–	358	-13,6	364	-16,2	364	-11,1	–	–	379	-12,5
CCSM3	–	–	–	–	569	-3,6	–	–	610	-0,2	599	-0,6	606	-1,9
CGCM3.1(T47)	352	-8,1	442	-3,8	–	–	296	-13,1	369	-7,1	–	–	–	–
CGCM4.1(T63)	–	–	–	–	–	–	–	–	388	-6,6	–	–	391	-7,6
CNRM-CM3	467	-8,7	561	-4,6	430	-10,4	–	–	502	-7,3	483	-7,7	–	–
CSIRO-MK3.0	470	-10,9	–	–	479	-11,2	–	–	477	-10,2	504	-9,5	487	-10,6
ECHAM5/MPI-OM	646	-2,1	–	–	–	–	–	–	581	-4,0	621	-4,8	576	-4,9
ECHO-G	470	-4,0	461	-4,9	395	-9,1	366	-11,9	440	-5,2	444	-5,3	–	–
FGOALS-g1.0	–	–	–	–	596	-9,6	623	-9,5	637	-6,8	–	–	622	-8,2
GFDL-CM2.0	477	-11,8	466	-12,1	453	-11,3	438	-14,4	492	-9,0	471	-9,3	480	-10,0
GFDL-CM2.1	345	-10,8	345	-10,8	433	-9,2	393	-11,5	483	-5,8	472	-7,1	434	-7,4
GISS-AOM	–	–	–	–	–	–	537	-12,0	627	-7,7	–	–	579	-8,5
GISS-EH	326	-10,2	–	–	–	–	–	–	315	-10,0	–	–	–	–
GISS-ER	380	-12,1	–	–	347	-13,7	–	–	–	–	363	-11,9	355	-12,2
INM-CM3.0	542	-3,9	586	-0,1	497	-5,8	442	-8,4	553	-3,5	540	-3,3	522	-4,4
IPSL-CM4.0	492	-10,6	608	-6,1	574	-13,1	485	-15,7	600	-9,8	500	-9,8	500	-10,1
MIROC3.2(hires)	501	-5,0	–	–	–	–	–	–	549	-2,0	–	–	565	-2,8
MIROC3.2(medres)	363	-11,2	363	-11,2	321	-11,8	–	–	400	-8,1	388	-8,2	374	-9,6
MRI-CGCM2.3.2	–	–	–	–	360	-12,4	316	-14,0	391	-9,8	378	-10,4	350	-10,7
PCM	–	–	–	–	–	–	–	–	420	-9,7	422	-9,5	–	–
UKMO-HadCM3	–	–	–	–	405	-13,6	373	-15,3	486	-10,1	483	-10,4	455	-10,7
UKMO-HadGEM1	–	–	–	–	–	–	518	-11,1	627	-3,8	612	-4,4	–	–

Продолжение таблицы 1

	Scenario 1PTO2X		Scenario 1PTO4X		Scenario COMMIT		Scenario PICTL		Scenario SRA1B		Scenario SRA2		Scenario SRB1	
Модель	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C	*N* мм	*T* °C
р. Бохапча – 5.4 км от устья ($N_{факт}$ =351 мм/год, $T_{факт}$ = – 11,6 °C)														
BCC-CM1	65	2,0	69	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	259	1,8
BCCR-BCM2.0	720	-12,6	–	–	696	-12,7	650	-14,4	759	-11,2	–	–	746	-11,5
CCSM3	–	–	–	–	716	-10,6	–	–	790	-8,3	799	-8,3	740	-9,3
CGCM3.1(T47)	445	-12,7	589	-8,4	–	–	380	-16,5	480	-12,2	–	–	–	–
CGCM4.1(T63)	–	–	–	–	–	–	–	–	499	-12,5	–	–	477	-13,1
CNRM-CM3	824	-10,3	936	-7,1	777	-10,8	–	–	835	-9,0	821	-9,4	–	–
CSIRO-MK3.0	688	-8,9	–	–	651	-9,4	–	–	651	-8,1	659	-8,0	682	-8,6
ECHAM5/MPI-OM	868	-8,2	–	–	–	–	–	–	837	-9,6	770	-9,8	803	-9,8
ECHO-G	619	-9,0	601	-9,9	501	-13,3	488	-14,9	541	-10,4	586	-10,5	–	–
FGOALS-g1.0	–	–	–	–	893	-11,3	984	-11,6	985	-8,6	–	–	1017	-9,5
GFDL-CM2.0	548	-13,4	584	-13,4	561	-13,0	554	-14,6	582	-11,8	568	-11,9	594	-11,9
GFDL-CM2.1	546	-11,3	546	-11,3	551	-11,8	467	-13,6	606	-9,3	569	-10,1	563	-10,2
GISS-AOM	–	–	–	–	–	–	882	-8,6	991	-5,7	–	–	996	-6,2
GISS-EH	1210	-9,0	–	–	–	–	–	–	1232	-9,1	–	–	–	–
GISS-ER	772	-7,4	–	–	695	-8,5	–	–	–	–	760	-7,2	716	-8,1
INM-CM3.0	739	-3,7	879	0,3	774	-4,6	713	-7,0	819	-2,6	779	-2,8	763	-3,6
IPSL-CM4.0	713	-6,7	814	-2,7	694	-8,2	637	-9,9	728	-5,9	691	-6,5	722	-6,8
MIROC3.2(hires)	691	-9,0	–	–	–	–	–	–	761	-6,7	–	–	747	-7,1
MIROC3.2(medres)	687	-9,7	687	-9,7	643	-10,4	–	–	738	-7,9	738	-8,3	708	-8,5
MRI-CGCM2.3.2	–	–	–	–	450	-10,9	454	-11,7	472	-9,6	454	-10,0	457	-10,3
PCM	–	–	–	–	–	–	–	–	584	-13,2	588	-13,4	–	–
UKMO-HadCM3	–	–	–	–	429	-11,4	407	-13,6	540	-8,2	515	-8,4	509	-9,4
UKMO-HadGEM1	–	–	–	–	–	–	447	-15,3	562	-9,5	544	-9,4	–	–

По изложенной выше методике спрогнозированы норма слоя стока весеннего половодья, второй и третий моменты (соответственно коэффициенты вариации и асимметрии) по всем перечисленным сценариям и моделям на 2060 г. По норме прогнозного слоя стока, коэффициентам вариации и асимметрии построены аналитические кривые обеспеченности Пирсона III типа (рис. 1).

Для каждого сценария рассчитаны осредненные по моделям кривые обеспеченности (на рис. 1 – черные кривые) и найдены те сценарные модели, к которым эти средние ближе всего.

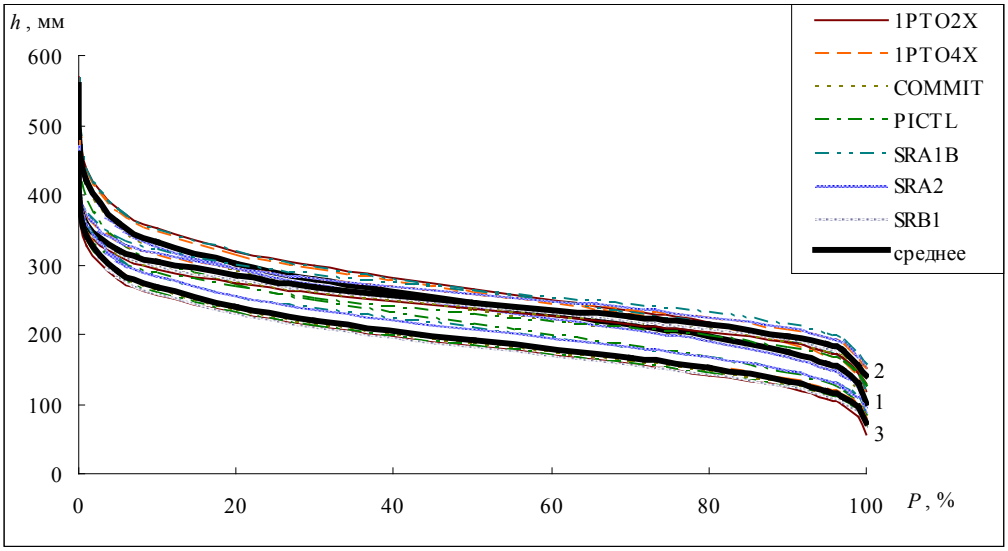


Рис. 1. Осредненные прогнозные кривые обеспеченности на 2060 г.
1 – р. Уфтюга – д. Ярухино; *2* – р. Щучья – д. Щучье; *3* – р. Бохапча – 5,4 км от устья.

В табл. 2 представлены выбранные модели по всем сценариям для трех рассматриваемых водосборов. Чаще всего встречаются модели GFDL-CM2.1 и CSIRO-MK3.0.

Для каждой из рек, которые являются репрезентативными для определенной физико-географической зоны, были выбраны свои характерные (ближе всего соответствующие осредненным прогностическим распределениям) сценарные модели. Для рек, находящихся в Западной и Восточной Сибири, сценарии совпадают, модели разные. При сравнении Азиатской части Арктической зоны и Европейской части получено, что сценарии разные, причем сценарии отличаются по технологии прогноза климатических характеристик: сценарий 1PTO4X учитывает только концентрации парниковых газов, а сценарий SRB1 – еще и экономическое и социальное развития населения.

В качестве характерной сценарной модели для всей территории Российской Арктики можно рекомендовать модель UKMO-HadCM3 сценария SRB1. Он является «политическим», так как в нем учитывается потенциальное экономическое развитие Арктической зоны РФ, а модель разработана для учета изменения запасов водных ресурсов в новом климате [4].

Таблица. 2

Модели, соответствующие осредненным прогнозным кривым обеспеченности

р. Уфтюга – д. Ярухино		р. Щучья – д. Щучье		р. Бохапча – 5,4 км от устья	
Сценарий	Модель	Сценарий	Модель	Сценарий	Модель
1PTO2X	GISS-ER	1PTO2X	CSIRO-MK3.0	1PTO2X	BCCR-BCM2.0
1PTO4X	CGCM3.1(T47)	1PTO4X	GFDL-CM2.0	1PTO4X	MIROC3.2 (medres)
COMMIT	GFDL-CM2.1	COMMIT	GFDL-CM2.0	COMMIT	CSIRO-MK3.0
PICTL	GFDL-CM2.1	PICTL	INM-CM3.0	PICTL	GFDL-CM2.0
SRA1B	FGOALS-g1.0	SRA1B	GFDL-CM2.0	SRA1B	IPSL-CM4.0
SRA2	GFDL-CM2.1	SRA2	UKMO-HadCM3	SRA2	CSIRO-MK3.0
SRB1	MIROC3.2 (medres)	SRB1	UKMO-HadCM3	SRB1	CSIRO-MK3.0
Средний сценарий и модель	1PTO4X CGCM3.1(T47)	Средний сценарий и модель	SRB1 UKMO-HadCM3	Средний сценарий и модель	SRB1 CSIRO-MK3.0

Выводы

Проанализированы все имеющиеся в открытом доступе климатические сценарии. Выявлены сценарные модели, прогнозирующие осредненные условия формирования слоя стока весеннего половодья Арктической зоны Российской Федерации. Климатические модели были найдены с учетом физико-географической особенности Российской Арктики, которая была поделена на три зоны, отличные друг от друга процессом формирования слоя стока весеннего половодья. Установлено, что для Европейской части Арктической зоны наиболее вероятной является модель CGCM3.1(T47) сценария 1PTO4X, для Западносибирской части – UKMO-HadCM3 сценария SRB1, а для Восточносибирской части – CSIRO-MK3.0 сценария SRB1. Подобная информация позволит давать более обоснованные долгосрочные прогнозы слоя стока весеннего половодья для Арктической территории России, [5].

Исследования выполнялись в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (грант № П740).

Литература

1. *Коваленко В.В.* Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при изменении климата. – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 100 с.
2. *Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В.* Моделирование гидрологических процессов. Изд. 2-е, испр. и доп. Учебник. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006. – 559 с.
3. Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате. / Под ред. В. В. Коваленко – СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – 50 с.
4. The IPCC Assessment Reports // [Электронный ресурс]: IPCC, 2009. – Режим доступа: htpp//www.ipcc.ch. Свободный. – На англ. яз.
5. *Коваленко В.В. и др.* Влияние изменения климата на многолетний слой стока весеннего половодья рек Арктической зоны России // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 14, с. 14-19.

А.В. Сикан

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КРИВЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

A.V. Sikan

OPTIMIZATION OF THE PROBABILITY DISTRIBUTION FUNCTION PARAMETERS FOR EXTREME WATER DISCHARGES

В работе рассматриваются методы подбора оптимальных параметров распределения для кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля при расчете экстремальных расходов воды.

Ключевые слова: гидрологические расчеты, экстремальные расходы воды, кривые обеспеченностей, распределение Крицкого-Менкеля, оценка параметров.

In this paper, a way to adjust optimum parameters of Kritsky-Menkel probability distribution function performed in extreme water discharge computation

Key words: hydrological design, extreme water discharges, exceedance probability curve, Kritsky-Menkel probability distribution, parameters estimation.

При определении экстремальных расходов воды заданной вероятности ежегодного превышения довольно часто встречаются ситуации, когда эмпирические точки существенно отклоняются от аналитической кривой в зонах больших или малых обеспеченностей. Возможных причин здесь несколько: погрешности определения экстремальных расходов воды, появление в относительно коротком ряду наблюдений расходов редкой повторяемости, неоднородность ряда, неудачный выбор типа аналитической кривой обеспеченностей, погрешности расчета параметров распределения.

Рассмотрим последнюю из названных причин. На практике в качестве расчетного значения коэффициента вариации (C_v) принимается его значение, полученное на основе аналитического расчета, а отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации (C_s/C_v) определяется либо подбором, либо принимается его среднее районное значение. Эмпирическое значение C_s обычно используется только в качестве первого приближения, так как при имеющейся длине рядов ошибка C_s составляет не менее 30 %.

Однако при таком подходе не всегда удается добиться хорошего соответствия эмпирических точек и аналитической кривой на ее концах. В результате обеспеченность крайней точки, полученная сносом на аналитическую кривую, может давать вероятность превышения порядка 1 раз в 1000 лет, что в большинстве случаев не соответствует действительности.

Один из вариантов решения проблемы – оптимизация не только отношения C_s/C_v, но и коэффициента вариации. При этом скорректированные значения C_s и C_v

не должны выходить за пределы их интервальной оценки при некотором заданном уровне значимости.

Целесообразно применять следующие интервальные оценки:

$$(C_v^* - \sigma_{C_v}) \le C_v < (C_v^* + \sigma_{C_v}), \quad (1)$$

$$(C_s^* - \sigma_{C_S}) \le C_s < (C_s^* + \sigma_{C_S}), \quad (2)$$

где C_v^* и C_s^* – эмпирические оценки коэффициентов вариации и асимметрии; σ_{Cv} и σ_{Cs} – стандартные ошибки коэффициентов вариации и асимметрии.

В данном случае предполагается, что истинные значения параметров с вероятностью примерно 68,3 % не выходят за пределы их среднеквадратической погрешности, что соответствует уровню значимости 2α = 31,7 %.

Рассмотрим в качестве примера ряд максимальных дождевых расходов воды р. Костромы в створе д. Гнездиково. В табл.1 представлены основные статистические характеристики этого ряда, полученные методом приближенного наибольшего правдоподобия с использованием кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля [2].

Таблица 1

Статистические характеристики ряда максимальных расходов дождевых паводков; р. Кострома – д. Гнездиково; *n* = 75 лет

$\overline{Q}$, м3/с	λ_2	λ_3	C_v	C_s	C_s/C_v	σ_Q	σ_{Cv}	σ_{Cs}
44,5	-0,25	0,20	1,10	2,75	2,5	5,65	0,13	1,12

Как видно из таблицы, ряд имеет высокий коэффициент вариации, но при этом гипотеза об однородности ряда не опровергается ни по критерию Фишера, ни по критерию Стьюдента.

Высокая вариация ряда объясняется тем, что в этом регионе крупные дождевые паводки в многоводные годы могут превосходить паводки засушливых лет в десятки и даже сотни раз (рис.1).

Используя данные табл.1, получаем интервальные оценки параметров:

$$0,97 \le C_v < 1,23, \quad (3)$$

$$1,63 \le C_s < 3,87. \quad (4)$$

В рамках принятого алгоритма в дальнейших расчетах статистика λ_3 не используется, а значение C_v определяется в зависимости от λ_2 и отношения C_s/C_v. При фиксированном λ_2 изменение C_s/C_v приводит и к изменению коэффициента вариации (табл.2).

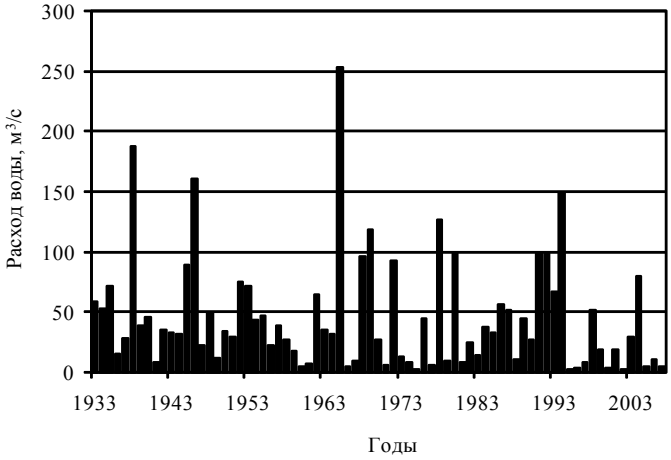


Рис.1. Хронологический график максимальных расходов дождевых паводков; р. Кострома – д. Гнездиково.

Таблица 2

Значения параметров C_v и C_s при различных C_s/C_v и фиксированном λ_2 для ряда максимальных расходов дождевых паводков; р. Кострома – д. Гнездиково

№ варианта	Входные параметры		Результат расчета	
	λ_2	C_s/C_v	C_v	C_s
1	-0,25	2	0,96	1,92
2	-0,25	2,5	1,10	2,75
3	-0,25	3	1,20	3,60
4	-0,25	3,5	1,25	4,38

Как видно из табл.2, условиям (3), (4) удовлетворяют только варианты №2 и №3. На рис.2 представлены аналитические кривые обеспеченностей, построенные с использованием параметров для вариантов 2 и 3 (соответственно кривые 2 и 3 на рис.2). Кроме того, на рисунке представлена аналитическая кривая обеспеченностей, построенная с использованием параметров, полученных методом моментов (кривая №1; $C_v = 1{,}05$; $C_s = 2{,}0$). Как видно на рисунке, вариант №3 дает наилучшее соответствие эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей в их верхней части, т.е. наилучшая сходимость получена при небольшой корректировке C_v и C_s. Кривая, построенная с использованием моментных оценок, ожидаемо хуже других соответствует эмпирическим точкам, так как при больших C_v смещённость этих оценок становится существенной.

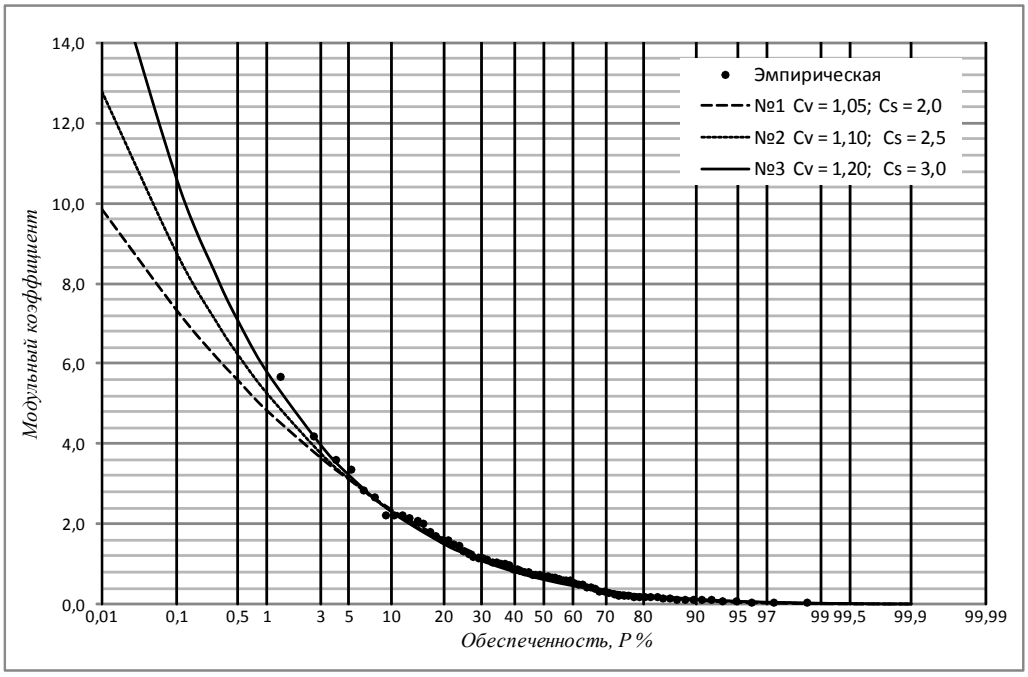


Рис.2. Эмпирическая и аналитические (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных расходов дождевых паводков; р. Кострома – д. Гнездиково.
№1 – расчет методом моментов; №2 – расчет методом наибольшего правдоподобия; №3 – расчет методом наибольшего правдоподобия с корректировкой параметров.

Еще один вариант подбора параметров – использование метода квантилей. В Своде правил [3] метод квантилей реализован для кривой обеспеченностей Пирсона III типа. Однако при расчетах минимального и максимального стока данная кривая не является оптимальной. Известно, что при $C_s/C_v < 2$ эта кривая в зоне больших обеспеченностей уходит в отрицательную область, а при $C_s/C_v > 2$ может иметь нижний предел, который окажется выше наблюденного минимума.

Более целесообразно использовать для этих целей кривую Крицкого-Менкеля. Хотя кривая Крицкого-Менкеля рекомендуется нормативными документами как основная расчетная кривая, до последнего времени она не использовалась для оценки параметров распределения методом квантилей. Причиной этого является отсутствие для распределения Крицкого-Менкеля однозначной зависимости между коэффициентом асимметрии и коэффициентом скошенности S.

На кафедре гидрологии суши РГГМУ была предложена методика, учитывающая специфику данной кривой [4]. В отличие от стандартной схемы здесь, наряду с обычным коэффициентом скошенности S, рассчитывается коэффициент S_2:

$$S = \left(x_5 + x_{95} - 2x_{50}\right) / \left(x_5 - x_{95}\right), \tag{5}$$

$$S_2 = 2x_{50} / (x_5 - x_{95}), \tag{6}$$

где x_5, x_{50}, x_{95} – ординаты сглаженной эмпирической кривой обеспеченностей соответственно для $P = 5$ %, $P = 50$ %, $P = 95$ %.

Как показали исследования, при фиксированном значении C_s/C_v коэффициент S_2 однозначно зависит от S.

Для удобства использования этого метода в настоящей работе предлагаются номограммы, позволяющие получить значения C_v и C_s/C_v в зависимости от коэффициента скошенности S и параметра $\ln(S_2)$ (рис.3,4). При построении номограмм использовались ординаты кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля, опубликованные в [1].

Схема работы с номограммами следующая: значение C_v снимается с номограммы в зависимости от параметров S и $\ln(S_2)$, а полученное по номограмме значение C_s/C_v округляется до 0,5.

Значение C_s/C_v можно определять и методом подбора. В этом случае параметр S_2 не используется, а значение C_v определяется в зависимости от S и отношения C_s/C_v. В процессе подбора проверяется несколько вариантов значений C_s/C_v. В качестве расчетных принимаются такие значения C_s/C_v и C_v, при которых имеет место наилучшее соответствие эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей.

В целом схема работы с номограммами аналогична той, которая применяется для расчета параметров распределения методом приближенного наибольшего правдоподобия.

Следует подчеркнуть, что в данном случае метод квантилей используется как вспомогательная процедура для корректировки параметров. Здесь не проводится новая сглаженная эмпирическая кривая, а корректируется уже построенная аналитическая кривая с учетом отклоняющихся точек. При этом для уменьшения элементов субъективизма необходимо ориентироваться на систему ограничений (1), (2).

При расчетах максимального стока в качестве дополнительной меры контроля можно использовать сравнительную оценку модулей стока обеспеченностью $P = 0{,}01$ %, полученных без и после корректировки параметров. Эти максимумы не должны превышать предельных районных значений.

В заключение следует отметить, что предложенные методы оптимизации параметров распределения являются наиболее эффективными в тех случаях, когда имеется не одна, а несколько точек, отклоняющихся от аналитической кривой обеспеченностей в ее верхней или нижней части. При этом ряд является однородным, а эмпирическая кривая имеет положительную асимметрию и достаточно плавные очертания.

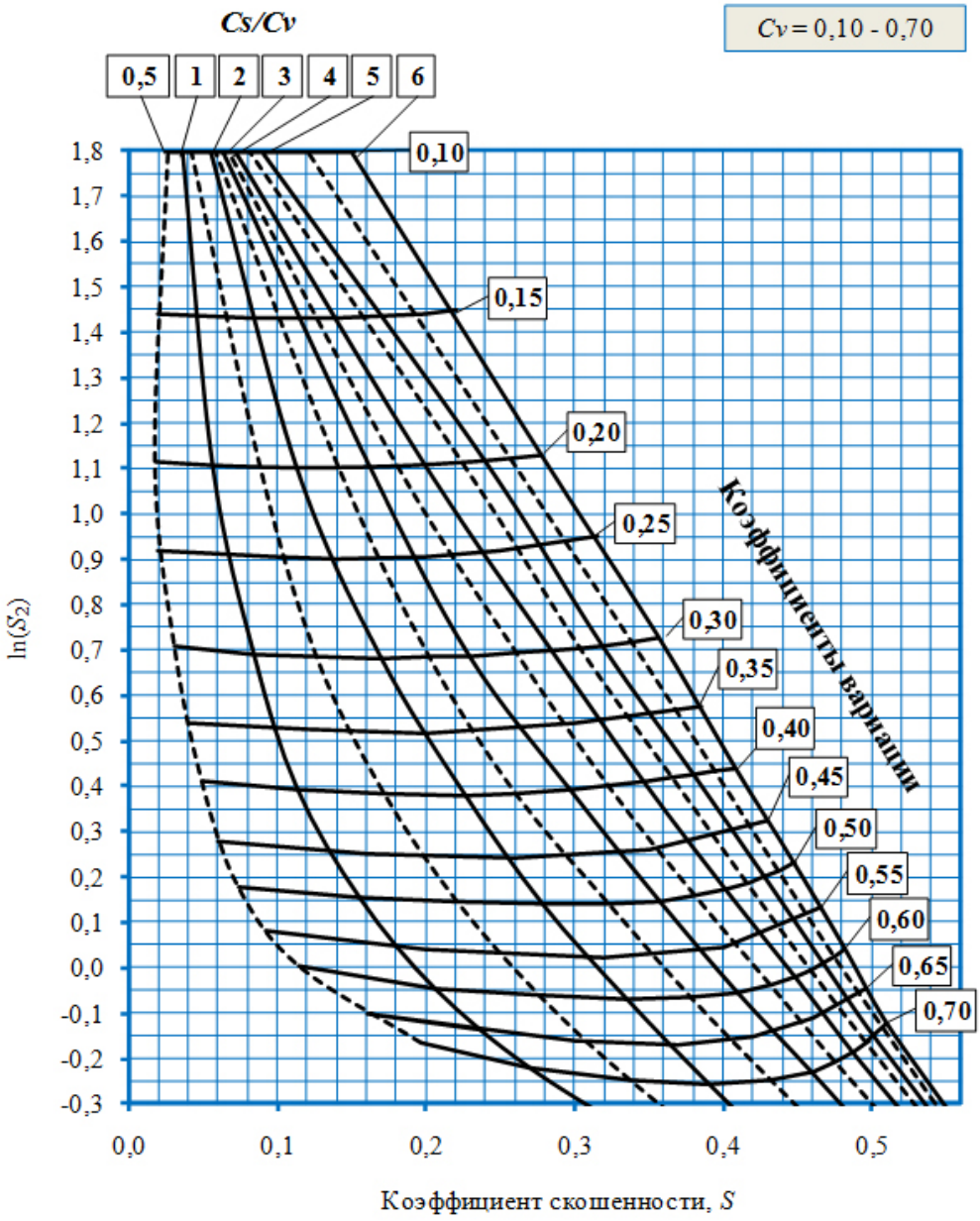
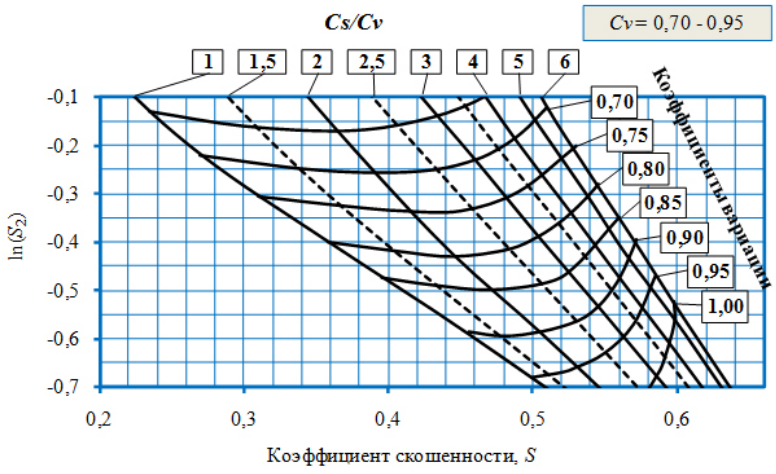


Рис.3. Номограмма для определения C_v и C_s/C_v методом квантилей при использовании кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля (C_v = 0,10-0,70).



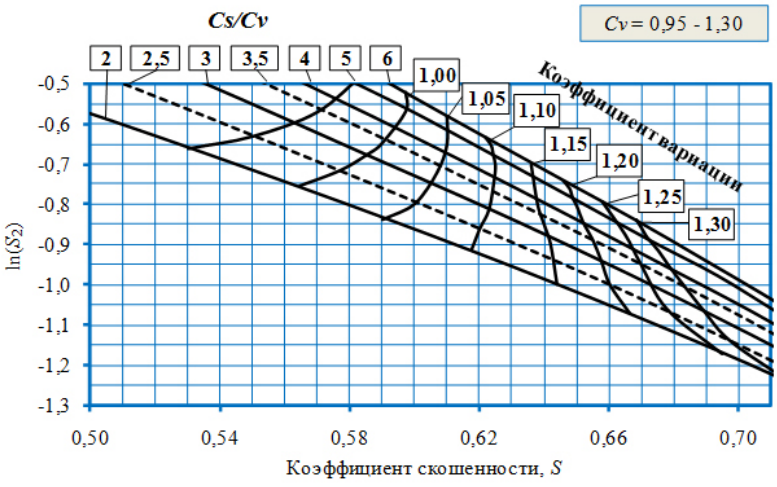


Рис.4. Номограммы для определения C_v и C_s/C_v методом квантилей при использовании кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля (C_v = 0,70-0,95; Cv = 0,95-1,30).

Литература

1. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 134 с.
2. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 424 с.
3. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 2004. – 72 с.
4. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.–279 с.

Н.В.Дьяченко

ГРАВИТАЦИОННО-КАПИЛЛЯРНЫЕ ВОЛНЫ НА НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ

N.V.Djachenko

GRAVITY-CAPILLARY WAVES ON THE RAKING SURFACE OF THE FLUID

В статье решена граничная задача математической физики о распространении гравитационно-капиллярных волн по наклонной к горизонту поверхности жидкости. Показано, что амплитуда гравитационно-капиллярных волн линейно возрастает со временем, что ведет к их разрушению.

Ключевые слова: наклонная поверхность жидкости, силы поверхностного натяжения, потенциальное движение, граничные условия, решение уравнения Лапласа, профиль волны.

In paper the mathematical physics boundary problem about extending of gravity-capillary waves on raking to horizon of a surface of a fluid is solved. It is shown that the amplitude of gravity-capillary waves linearly increases in due course that conducts to their breaking down.

Key words: a raking surface of a fluid, a surface tension force, potential traffic, boundary conditions, the solution of the equation of the Laplace, a wave contour.

Наклонная поверхность жидкости образуется под амфибийным судном на воздушной подушке (АСВП), парящим над уровнем моря, за счет избыточного давления, создаваемого воздушными нагнетателями, и представляет собой впадину с горизонтальным дном и наклонными краями (рис.1). В [1] показано, что вдоль склона впадины по направлению к невозмущенной поверхности моря распространяются волны. Разрушение этих волн приводит к образованию облака брызг, окутывающего АСВП и затрудняющего его эксплуатацию. Для определения объемов воды, выбрасываемых в атмосферу, необходимо знать характер роста волнового движения вдоль склона впадины. Ранее было рассмотрено влияние гравитационных сил на форму профиля волны, бегущей вдоль склона впадины. В настоящей работе помимо гравитационных сил учтено также и влияние сил поверхностного натяжения на профиль волнового движения.

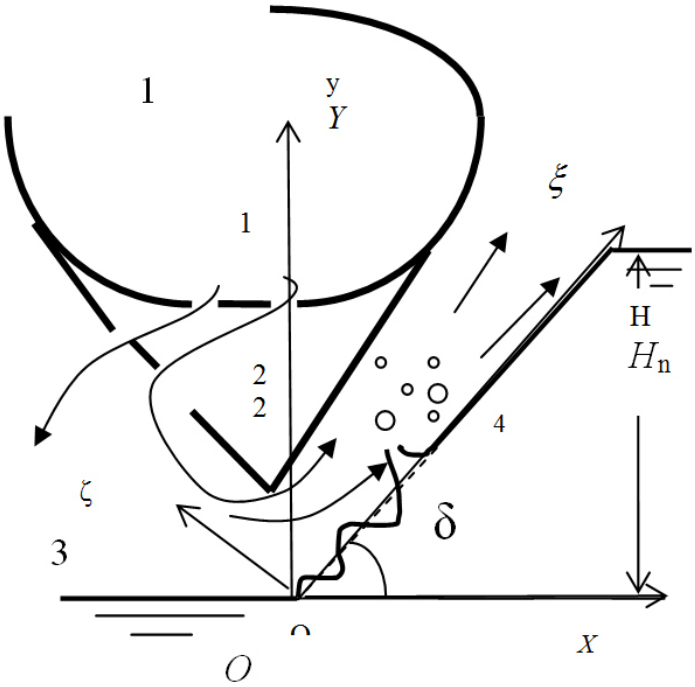


Рис.1. Схема истечения воздуха вдоль склона впадины ВП: *1* – ресивер; *2* – навесной элемент гибкого ограждения ВП; *3* – область ВП; H_n – глубина впадины ВП; δ – угол наклона поверхности к горизонту.

При решении задачи о капиллярных волнах будем исходить из предположения о том, что эти волны малы и не вызывают пульсации давления в струе воздуха над склоном впадины воздушной подушки (ВП). Но вместе с этим учтем дополнительное давление на поверхность жидкости, создаваемое силами поверхностного натяжения, пропорциональными местной кривизне поверхности и величине коэффициента сил поверхностного натяжения σ на границе сред вода – воздух [2]. В этом случае динамическое граничное условие на склоне впадины воздушной подушки принимает вид:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = g\varsigma - \frac{\sigma}{\rho_w}\frac{\partial^2 \varsigma}{\partial x^2}. \qquad (1)$$

Кинематическое граничное условие выглядит как

$$-\frac{\partial \phi}{\partial y} = -tg\delta\frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial \varsigma}{\partial t}. \qquad (2)$$

Эти граничные условия выполняются при $y = y_c = x\ \mathrm{tg}\delta$. Будем искать решение уравнения Лапласа $\varphi(x,y,t)$ в области Ω, расположенной ниже уровня склона впадины ВП (рис.1), [3], удовлетворяющее граничным условиям (1) и (2) и дополнительному условию на глубине $\varphi(x,y,t) \to \infty$ при $y \to -\infty$.

Простейшее решение уравнения Лапласа, удовлетворяющее условию на глубине, имеет вид:

$$\phi(x,y,t) = B(t)\, e^{ky} \cos(kx). \tag{3}$$

Выпишем производные потенциала, входящие в кинематическое граничное условие:

$$\frac{\partial\phi}{\partial y} = k\, B(t)\, e^{ky} \cos(kx),$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial x} = -k\, B(t)\, e^{ky} \sin(kx)$$

и подставим эти производные в (2):

$$\frac{\partial\varsigma}{\partial t} = -k\, B(t)\, e^{ky} \cos(kx) + k\, B(t) tg\delta\, e^{ky} \sin(kx). \tag{4}$$

Введем в рассмотрение первообразную функцию $A(t) = \int B(t)dt$ и положим $A(t) = 0$ при $t = 0$. Выполним интегрирование по времени обеих частей равенства (4)

$$\varsigma = -k\, A(t) e^{ky} \cos(kx) + k\, A(t)\, tg\delta e^{ky} \sin(kx) + F(x,y). \tag{5}$$

Положим $\zeta = 0$ при $t = 0$. Тогда $F(x,y) = 0$

$$\varsigma = A(t) k\, e^{ky} \left[-\cos(kx) + tg\delta \sin(kx)\right]. \tag{6}$$

Выполнив дифференцирование (6) и (3), получим:

$$\frac{\partial^2\varsigma}{\partial x^2} = A(t) k^3\, e^{ky} \left[\cos(ky) - tg\delta \sin(kx)\right], \tag{7}$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} = \frac{dB}{dt} e^{ky} \cos(kx) = A''(t) e^{ky} \cos(kx). \tag{8}$$

Подставим производные в динамическое граничное условие, сократим обе части равенства на e^{ky} и сделаем приведение подобных членов:

$$\left[A'' + A(t)\left(gk + k^3 \frac{\sigma}{\rho_w}\right)\right]\cos(kx) = \left[A(t) tg\delta \left(gk + k^3 \frac{\sigma}{\rho_w}\right)\right]\sin(kx). \tag{9}$$

Для того чтобы равенство (9) выполнялось при любых значениях kx, необходимо приравнять нулю каждую из скобок перед тригонометрическими функциями:

$$\begin{aligned} &A'' + A(t)\left(gk + k^3 \frac{\sigma}{\rho_w}\right) = 0, \\ &A(t) tg\delta \left(gk + k^3 \frac{\sigma}{\rho_w}\right) = 0 \end{aligned} \tag{10}$$

Если $\mathrm{tg}\delta = 0$, то второе уравнение выполняется всегда, и мы получим решение:

$$A(t) = \cos(\omega t), \quad \omega^2 = gk + k^3 \frac{\sigma}{\rho_w},$$

$$\phi(x, y, t) = C\, e^{ky} \cos(kx) \cos(\omega t).$$

Это решение соответствует гравитационно-капиллярным волнам, распространяющимся по горизонтальной поверхности жидкости. Но в нашем исследовании нас интересует движение по наклонной поверхности при $\mathrm{tg}\delta \neq 0$. $A(t) = 0$ соответствует не представляющему интереса тривиальному нулевому решению. Следовательно, остается возможным

$$gk + k^3 \frac{\sigma}{\rho_w} = 0. \tag{11}$$

В этом случае $A''(t) = 0$, следовательно

$$A'(t) = B(t) = \mathrm{const} = C \quad \text{и} \quad A(t) = Ct.$$

Выражение для описания потенциала принимает вид:

$$\phi = C\, e^{ky} \cos(kx).$$

Форма профиля склона впадины воздушной подушки:

$$\varsigma = Ct\, e^{kx\,tg\delta}\, k\left[-\cos(kx) + tg\delta \sin(kx)\right]. \tag{12}$$

Из условия (11) следует

$$k = \pm in, \tag{13}$$

где $n = \sqrt{\dfrac{g\rho_w}{\sigma}}$.

Заменим экспоненту с чисто мнимым показателем комплексным числом по формуле Эйлера, а тригонометрические функции с чисто мнимым аргументом гиперболическими функциями. В результате получим два решения:

$$\varsigma_1 = Cnt \sin\left(nx\,tg\delta\right) ch(nx)\left[1 - tg\delta\, th(nx)\right] - iCnt \sin\left(nx\,tg\delta\right) ch(nx)\left[1 - tg\delta\, th(nx)\right],$$

$$\varsigma_2 = Cnt \sin\left(nx\,tg\delta\right) ch(nx)\left[1 + tg\delta\, th(nx)\right] + iCnt \cos\left(nx\,tg\delta\right) ch(nx)\left[1 + tg\delta\, th(nx)\right].$$

Поскольку система дифференциальных уравнений [граничные условия (1) и (2)] является линейной, любая линейная комбинация решений ζ_1 и ζ_2 также будет являться решением этой системы. Умножив решение ζ_1 на $[1 + \mathrm{tg}\delta\, th(nx)]$, а решение ζ_2 на $[1 - \mathrm{tg}\delta\, th(nx)]$, получим два комплексно сопряженных решения, сумма которых даст вещественное решение задачи:

$$\varsigma = 2Cnt\sin\left(nx\,tg\delta\right)ch\,(nx)\left[1 - tg(2\delta)\,th(2nx)\right]. \qquad (14)$$

Полученное решение в любой фиксированный момент времени представляет собой синусоиду аргумента $nx\mathrm{tg}\delta$, амплитуда которой увеличивается с ростом координаты x, т.е. по мере приближения к свободной поверхности моря за пределами воздушной подушки. В любой точке склона впадины ординаты профиля склона линейно возрастают со временем.

Длина волны λ определяется из условия $n\mathrm{tg}\delta = 2\pi/\lambda$ т.е. длина волны равна $\lambda = 2\pi/\ n\mathrm{tg}\delta$. Величина n близка к 370

$$\left(n = \sqrt{\frac{10 \cdot 1000}{0{,}074}} \approx 370\right).$$

Следовательно, $\lambda = 0{,}01698 / \mathrm{tg}\delta$.

С увеличением угла δ длина волны уменьшается, волны становятся короче и круче. Зависимость ординат профиля волны от времени свидетельствует о том, что капиллярные волны, так же как и чисто гравитационные волны, быстро возрастают и под действием давления со стороны набегающего потока струи воздуха должны деформироваться и со временем разрушаться.

Литература

1. *Аносов В.Н.* Исследование процесса брызгообразования и разработка брызгозащитных средств судов на воздушной подушке: Дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук. – СПб., 1992. – 123 с.
2. Динамика океана / Под ред.Ю.П.Доронина.-Л.:Гидрометеоиздат, 1980. – 303 с.
3. *Дьяченко Н.В.* Волновые движения наклонной поверхности жидкости // Уч. зап. РГГМУ, 2012, № 23, с. 35-40.

С.В. Махнорылова, А.И. Угрюмов

ФОРМИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕГО ПЕРИОДА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРАТОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

S.V. Makhnorylova, A.I. Ugryumov

SPRING-SUMMER THERMAL ANOMALIES FORMATION OVER EUROPEAN RUSSIA CAUSED BY THE STRATOSPHERIC CIRCULATION

Предлагается способ построения типовых полей аномалии средней месячной температуры воздуха на Европейской территории России в марте-июне при ранних и поздних весенних перестройках стратосферной циркуляции, а также выявление возможности их использования в долгосрочных прогнозах погоды. В частности, было установлено влияние срока барической перестройки в стратосфере на характер погоды (тепло или холод).

Ключевые слова: долгосрочный прогноз погоды, аномалия температуры воздуха, сроки барической перестройки, стратосферная циркуляция.

Author's way of constructing a model field anomalies of mean monthly air temperature in the European part of Russia in March-June, with early and late modifications of the stratospheric circulation, and way of identifying possible of useing their in long-term weather forecasting are suggest in this article. In particular, it was determined the effect of the pressure adjustment period in the stratosphere on the weather anomalies.

Key words: long-term weather forecast, the anomaly of air temperature, the pressure adjustment period, stratospheric circulation.

Интерес к взаимодействию процессов в тропосфере и стратосфере определяется не только стремлением к расширению нашего понимания закономерностей общей циркуляции атмосферы, но и практическими потребностями в дальнейшем совершенствовании долгосрочного прогноза погоды (ДПП). В ряде предыдущих работ было показано, что срок весеннего перехода стратосферной циркуляции с зимнего циклонического режима на летний антициклонический оказывает определенное воздействие на формирование длительных аномалий циркуляции и погоды [2, 4, 5, 7, 8]. Однако все эти работы были выполнены на ограниченном материале 10-15 лет, хотя результаты их и были обнадеживающими. Целесообразно проверить

обнаруженную ранее связь между характером весенне-летней погоды и стратосферными перестройками на более полном материале.

Регулярные наблюдения за состоянием стратосферной циркуляции начались в 1957 г., в период Международного геофизического года, и с тех пор не прекращались. Таким образом, к настоящему времени мы имеем материал стратосферных исследований длительностью более 50 лет. Прежде чем перейти к уточнению ранее полученных связей, рассмотрим коротко особенности стратосферной циркуляции и некоторые методы определения ее сезонных характеристик.

Физика формирования циркуляции в стратосфере и мезосфере принципиально отличается от тропосферных процессов. Структура барического поля и ветер определяются здесь преимущественно балансом тепла, который в основном зависит от количества поглощенной озоном ультрафиолетовой радиации в диапазоне длин волн от 180 до 300 нм и излучения длинноволновой радиации диоксидом углерода в спектральном диапазоне, центрированном около длины волны 1500 нм.

В результате в слое атмосферы от 20 до 80 км наблюдаются сезонные изменения циркуляции, которым нет аналога в тропосфере. Это так называемый стратосферный муссон, когда зимой над всем полушарием господствует циркумполярный циклон с выраженным западно-восточным переносом, а летом — циркумполярный антициклон с противоположным восточно-западным переносом воздушных масс.

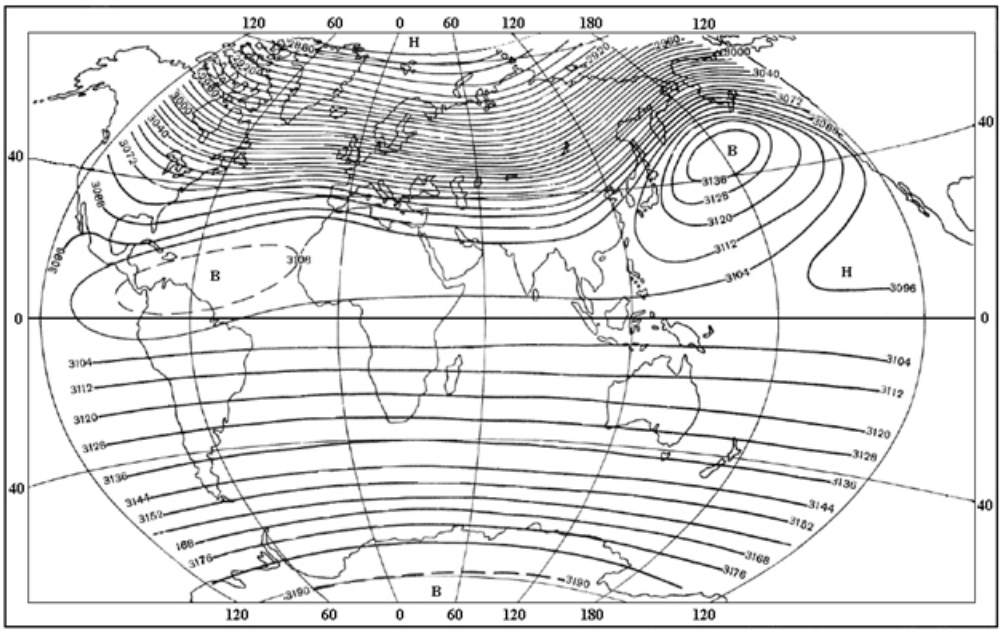


Рис.1. Барическое поле стратосферы на изобарической поверхности 10 гПа (31 км) зимой (Северное полушарие) и летом (Южное полушарие).

Характерной чертой стратосферной циркуляции являются сильные межгодовые изменения сроков весеннего перехода от зимней модели барического поля и ветра к летней. По последним данным сроки весеннего перехода или весенней перестройки барического поля стратосферы могут быть ранними (9 марта-5 апреля), средними (6-26 апреля) и поздними (27 апреля-13 мая) [1, 6].

Ранние перестройки связаны со значительной меридиональностью циркуляции в системе зимнего циклона, в результате чего, помимо радиационного прогрева полярной стратосферы, происходит ее значительное адвективное потепление. Анализируя годы с ранним становлением летнего режима циркуляции в полярной и умеренной зонах, можно заметить, что эти процессы довольно устойчивые: появляясь во второй и третьей декадах марта, восточная циркуляция, как правило, сохраняется в течение всего весеннего сезона. Она несколько меняется по интенсивности, уменьшаясь в конце апреля, а затем вновь усиливается в конце мая [3,6]. Поздние перестройки осуществляются почти исключительно под действием радиационных факторов прогрева полярной стратосферы.

Стратосферный фактор формирования тропосферной циркуляции по современным представлениям является лишь одним из многих, которые могут определять долговременные изменения погоды. Его влияние год от года может затушевываться воздействием других более мощных факторов. Однако если влияние стратосферы все-таки есть, должны существовать некоторые типовые поля приземной аномалии температуры воздуха при ранних, средних и поздних перестройках стратосферной циркуляции, которые этим влиянием определяются.

Цель настоящей работы – построение типовых полей аномалии средней месячной температуры воздуха на Европейской территории России в марте-июне при ранних и поздних перестройках стратосферной циркуляции, а также выявление возможности их использования в долгосрочных прогнозах погоды. Анализ аналогичных полей в годы средних по сроку перестроек является целью дальнейших исследований.

Момент совершения сезонной барической перестройки в стратосфере оценивается количественными критериями, обычно рассчитанными для изобарической поверхности 10 гПа: либо по смене характера барического поля над полюсом (NCEP), либо по смене знака градиента геопотенциальной высоты в интервале 90-40 с.ш. (UKMO), либо по смене знака индекса зональной циркуляции атмосферы [7] и другими способами [6]. В нашей работе за период 1958 – 1970 гг. были использованы даты перестроек, определенные Росгидрометом по методике Д.А.Педя [3], а с 1971 г. по 2010 г. – по данным NCEP.

Для того чтобы выделить даты ранних и поздних весенних перестроек, были построены линейные тренды межгодового изменения дат перестройки отдельно для периодов 1958-1975, 1976-1985, 1986-2009 гг. (рис. 2 - 4). Такое разбиение на периоды было вызвано тем, что знак тренда в эти годы различен. В первом периоде он отрицательный, во втором – положительный, в третьем – почти нулевой.

За годы ранних весенних перестроек стратосферной циркуляции были приняты те годы, в которых дата перестройки расположена значительно ниже линии тренда, а за годы поздних – в которых значительно выше ее. Оба класса перестроек приведены в табл. 1.

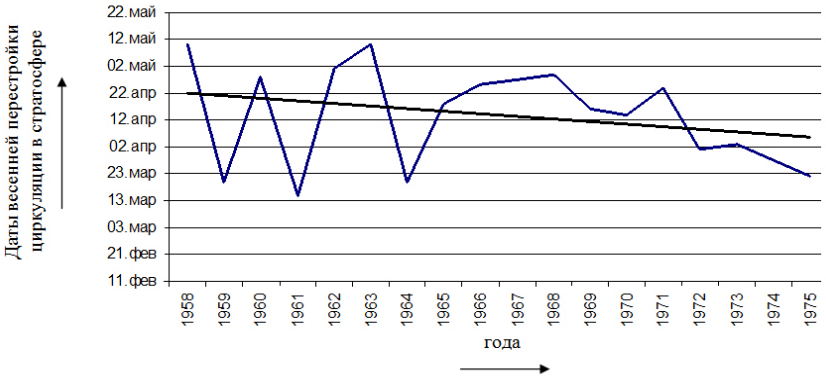


Рис.2. Линейный тренд межгодового изменения дат перестройки в 1958-1975 гг.

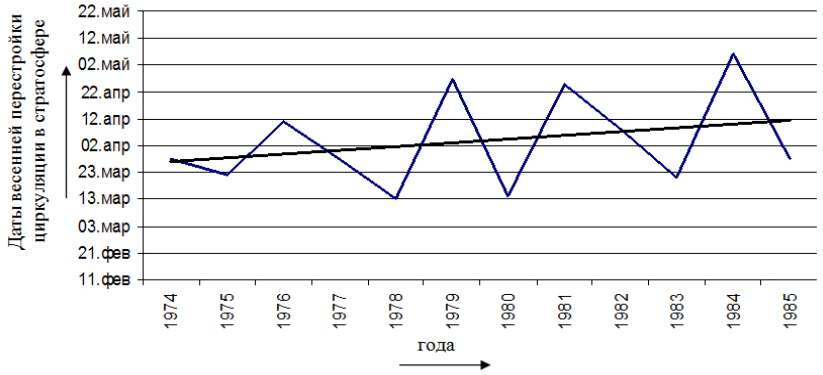


Рис. 3. Линейный тренд межгодового изменения дат перестройки в 1974-1985 гг.

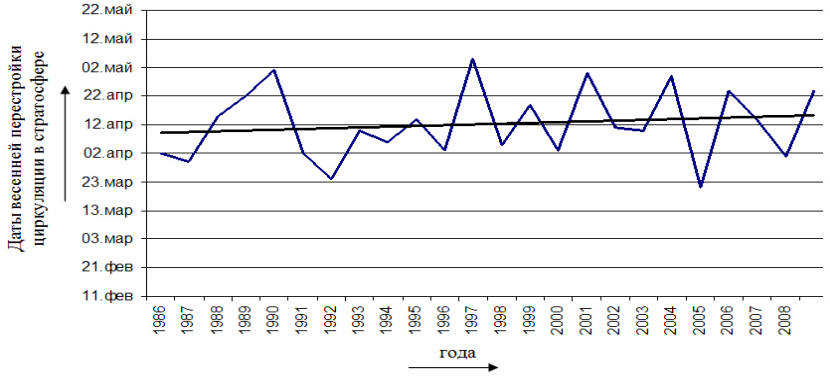


Рис.4. Линейный тренд межгодового изменения дат перестройки в 1986-2009 гг.

Таблица 1

Годы ранних и поздних перестроек стратосферной циркуляции

Ранние перестройки	Поздние перестройки
1959	1958
1961	1962
1964	1963
1972	1966
1975	1967
1977	1968
1978	1971
1980	1976
1983	1979
1985	1981
1986	1984
1987	1990
1991	1997
1992	2001
2005	2004
2008	2006
2010	2009

Последние 52 года, как мы видим из данных табл. 1, и ранние, и поздние перестройки в стратосфере совершались по 17 раз.

Для всех этих лет и для каждого месяца с марта по июнь включительно были построены поля аномалии температуры воздуха на Европейской территории России следующим образом. Мы выделили район размером 30-70° с.ш. и 20-60° в.д., построили сетку с шагом 2,5° x 2,5°, в узлах которой определили значения средней месячной приземной температуры (по данным реанализа NCEP). По временному ряду значений указанной величины в период 1958-2010 гг. в каждой точке были посчитаны ежегодные аномалии приземной температуры для марта, апреля, мая и июня по следующей формуле:

$$\Delta T_{\text{а}} = T_{i,j,k} - T_{\text{ср}i,j}, \qquad (1)$$

где $\Delta T_{\text{а}}$ – аномалия температуры в узле сетки; $T_{i,j,k}$ – средняя месячная температуры в узле сетки; $T_{\text{ср}i,j}$ – средняя месячная температуры в узле сетки, осредненная за период 1958-2010 гг. (климат).

Далее следовало получить для каждого месяца и вида стратосферной перестройки (ранний и поздний) типовые поля аномалии средней месячной температуры воздуха, преобладавшие в течение 17 лет. Для этого сначала была оценена связь между

ежегодными полями внутри каждого вида перестройки (отдельно для каждого месяца). В качестве показателя связи был использован коэффициент корреляции знаков аномалии Фехнера ρ, рассчитанный по формуле:

$$\rho = \frac{n_{совп} - n_{несовп}}{N}, \qquad (2)$$

где $n_{совп}$ – количество точек сетки, в которых аномалии 2-х сравниваемых полей совпали по знаку; $n_{несовп}$ – количество точек сетки, в которых аномалии 2-х сравниваемых полей по знаку не совпали; N – общее количество точек сетки.

Данный коэффициент был выбран вследствие того, что показывает, насколько похожи поля аномалий по пространственному распределению областей температуры «выше нормы» и «ниже нормы», без учета самой величины аномалий. Известно, что все методы ДПП до настоящего времени достигали определенных успехов именно в прогнозе знака аномалии температуры. Величина же ее, как правило, прогнозируется неудовлетворительно.

Таким образом, для марта, апреля, мая и июня по отдельности и двух типов стратосферной перестройки были рассчитаны корреляционные матрицы полей аномалий температуры следующего вида (всего 8 матриц, пример приведен на рис. 5).

Далее в целях типизации полей аномалии температуры в каждом году (строки матрицы) были выбраны поля, для которых $\rho \geq 0{,}2$ (при этом знак аномалии совпадает более чем в 60 % точек сетки). Таким образом, для каждого года перестройки подобралось несколько лет с неплохо коррелирующимися полями аномалии приземной температуры воздуха. Осреднив эти поля (методом среднего арифметического), мы получили 17 промежуточных типовых полей аномалий температуры для каждого месяца ранних стратосферных перестроек и столько же для поздних.

В зависимости от географического положения очага аномалии и его знака полученные наборы из 17 полей для каждого месяца и каждого вида перестройки были объединены в несколько окончательных типов, которые были получены методом весового осреднения всех сходных по распределению знака аномалии промежуточных. В годы ранних перестроек окончательных типов полей аномалии температуры воздуха получилось: для марта – 3, для апреля – 2, для мая – 3 и для июня – 3. В годы поздних перестроек окончательных типов получилось по 2 для каждого месяца.

Рассмотрим теперь подробно типовые карты аномалий температуры.

	1959.03	1961.03	1964.03	1972.03	1975.03	1977.03	1978.03	1980.03	1983.03	1985.03	1986.03	1987.03	1991.03	2.03	2005.03	2008.03	2010.03
1959.03	1.000	.363	-.211	.606	.218	-.197	-.405	-.066	.149	.522	.294	.253	.024	.516	-.336	-.370	-.398
1961.03	.363	1.000	-.716	.066	.702	.322	.190	-.654	.571	.038	.239	-.343	-.232	.751	-.779	.176	-.433
1964.03	-.211	-.716	1.000	.003	-.612	-.211	-.218	.522	-.405	-.073	-.301	.211	.121	.675	.661	-.142	.329
1972.03	.606	.066	.003	1.000	-.080	-.398	-.564	.246	.156	.412	.093	.502	.017	.301	-.080	-.702	-.384
1975.03	.218	.702	-.612	-.080	1.000	.135	.343	-.619	.446	.059	.439	-.502	-.045	.578	-.647	.336	-.218
1977.03	-.197	.322	-.211	-.398	.135	1.000	.363	-.356	.163	-.467	-.287	-.377	-.066	.073	-.121	.495	.190
1978.03	-.405	.190	-.218	-.564	.343	.363	1.000	-.419	.225	-.433	.031	-.571	.211	.031	-.156	.702	.356
1980.03	-.066	-.654	.522	.246	-.619	-.356	-.419	1.000	-.453	.211	-.156	.564	.211	.419	.564	-.509	.100
1983.03	.149	.571	-.405	.156	.446	.163	.225	-.453	1.000	-.211	-.045	-.197	-.107	.391	-.495	.066	-.225
1985.03	.522	.038	-.073	.412	.059	-.467	-.433	.211	-.211	1.000	.426	.315	-.149	.273	-.045	-.467	-.343
1986.03	.294	.239	-.301	.093	.439	-.287	.031	-.156	-.045	.426	1.000	-.163	.170	.446	-.301	-.003	-.308
1987.03	.253	-.343	.211	.502	-.502	-.377	-.571	.564	-.197	.315	-.163	1.000	-.073	.093	.322	-.792	-.183
1991.03	.024	-.232	.121	.017	-.045	-.066	.211	.211	-.107	-.149	.170	-.073	1.000	.190	.197	.149	.135
1992.03	.516	.751	-.675	.301	.578	.073	-.031	-.419	.391	.273	.446	-.093	-.190	.000	-.744	-.073	-.460
2005.03	-.336	-.779	.661	-.080	-.647	-.121	-.156	.564	-.495	-.045	-.301	.322	.197	.744	1.000	-.149	.426
2008.03	-.370	.176	-.142	-.702	.336	.495	.702	-.509	.066	-.467	-.003	-.792	.149	.073	-.149	1.000	.391
2010.03	-.398	-.433	.329	-.384	-.218	.190	.356	.100	-.225	-.343	-.308	-.183	.135	.460	.426	.391	1.000

Рис.5. Корреляционная матрица полей аномалий температуры воздуха для марта в годы ранних весенних перестроек стратосферной циркуляции.

Ранние стратосферные перестройки

Март. В I типе марта, к которому относятся поля аномалий приземной температуры воздуха в 1959, 1961, 1972, 1975, 1983, 1985, 1986, 1992 гг. (рис. 6*а*) отмечается очаг тепла в северной половине и в центре Европейской территории России, на юго-востоке ЕТР, на Кавказе и на западе Средней Азии – аномально холодно.

Во II типе марта (1977, 1978, 2008, 2010 гг.) на рис. 6*б* практически вся ЕТР и прилегающие районы Азии заняты областью аномального тепла с максимумом в районе плато Устюрт (между Каспийским и Аральским морями), небольшой очаг холода расположен на севере, в районе в Большеземельской тундры.

В III типе марта (1964, 1980, 1987, 1991 и 2005 гг.) на рис. 6*в* отмечается обширный очаг холода в центре ЕТР, окаймленный с севера и юга слабыми областями тепла.

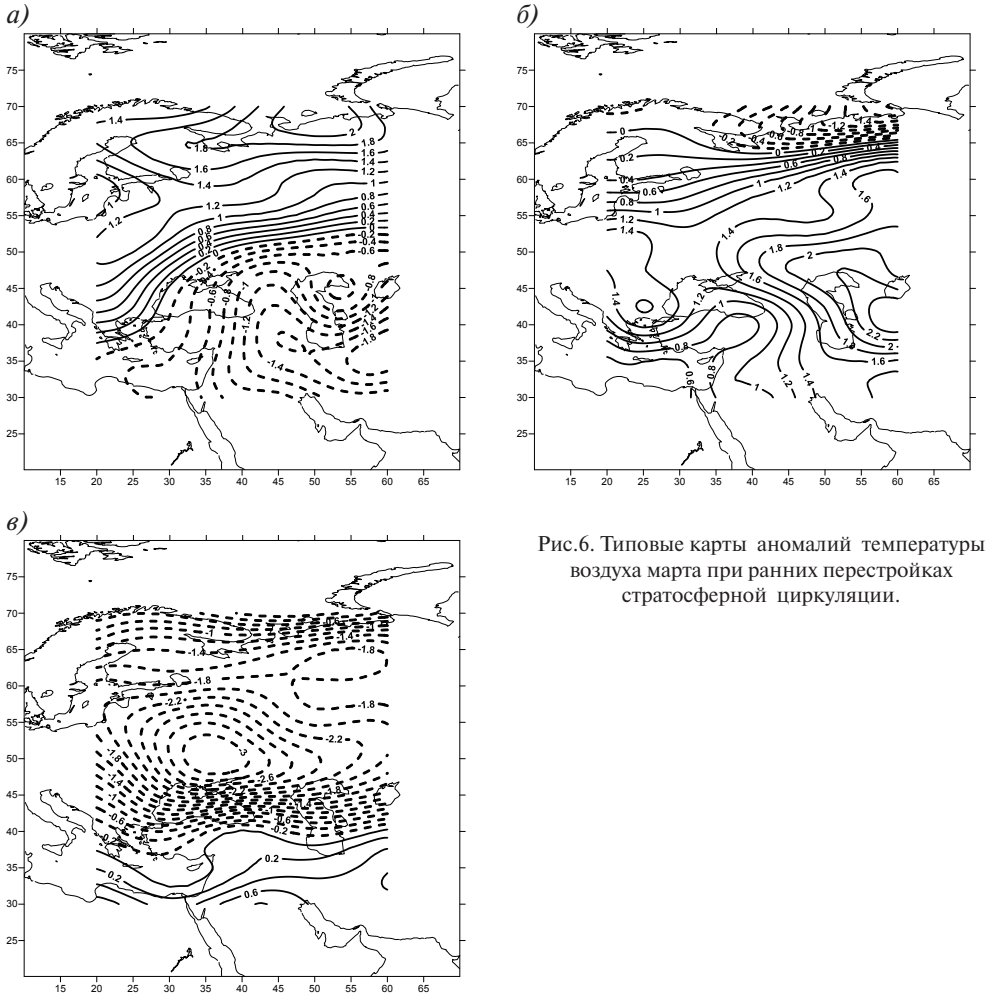


Рис.6. Типовые карты аномалий температуры воздуха марта при ранних перестройках стратосферной циркуляции.

Апрель. В I типе апреля (1959, 1961, 1964, 1978, 1987 и 1992 гг.) на рис. 7*а* – область холода на всей на всей исследуемой территории с очагом минимальных значений в Арктике и в Нижнем Поволжье.

II тип апреля (1972, 1975, 1977, 1980, 1983, 1985, 1986, 1991, 2005, 2008 и 2010 гг.) – это поле диаметрально противоположное I типу по знаку, в нем наблюдается область тепла на всей ЕТР с максимумом на Среднем Урале (рис. 7*б*).

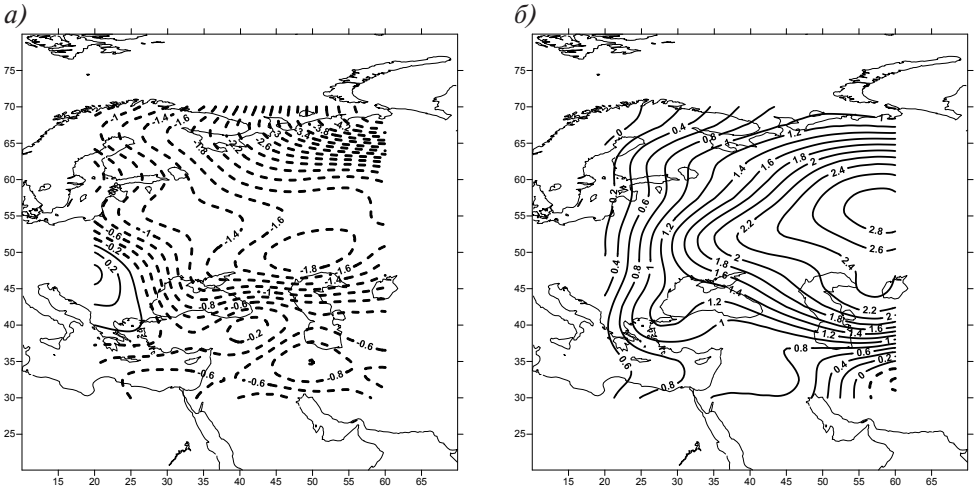


Рис. 7. Типовые карты аномалий температуры воздуха апреля при ранних перестройках стратосферной циркуляции.

Май. I тип мая (1959, 1961, 1964, 1978, 1980, 1992, 2008 гг.) можно назвать холодным – обширная область холода над ЕТР (рис. 8*а*).

II тип мая (1972, 1975, 1983, 1985, 1986 гг.) – обширный очаг тепла на ЕТР, отрицательные аномалии отмечаются лишь на периферии исследуемого района, в Малой Азии и на севере Западной Сибири (рис. 8*б*). Это зеркальное отражение I типа, но противоположного знака.

III тип мая (1977, 1987, 1991, 2005, 2010 гг.) – опять теплый, в нем наблюдаются очаги максимального тепла над Северным Уралом и Нижним Поволжьем (рис. 8*в*).

Июнь. I тип (1959, 1961, 1964, 1972, 1980, 1986 и 1992 гг.) - положительные аномалии температуры над большей частью ЕТР с максимумом над ее северо-западной частью (рис. 9*а*).

II тип (1978, 1983, 1985, 2005 гг.) – отрицательные аномалии температуры на рассматриваемой территории с центрами в Среднем Поволжье и на севере Балканского полуострова (рис. 9*б*).

III тип (1975, 1977, 1987, 1991, 2008, 2010 гг.) - область тепла над ЕТР, с хорошо выраженными очагами в районе Каспийского моря и небольшими вторжениями холода со Скандинавского полуострова (рис. 9*в*).

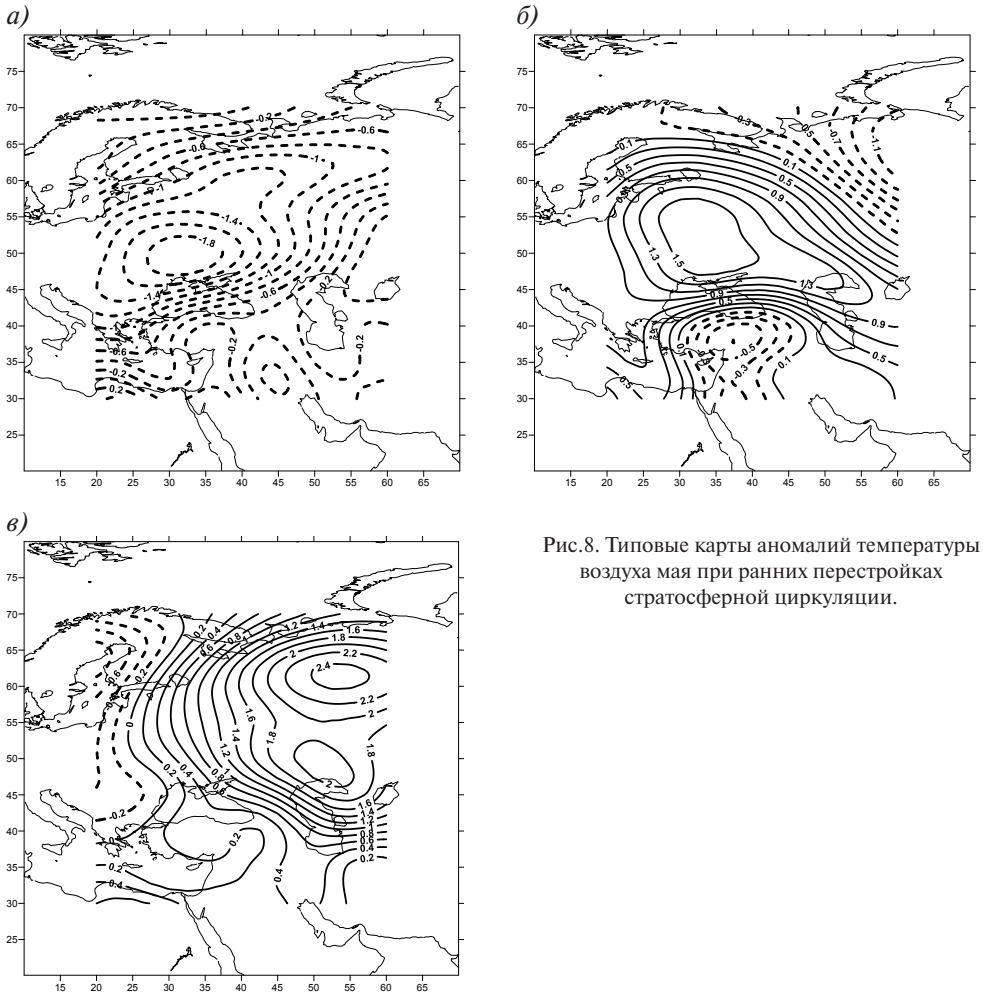


Рис.8. Типовые карты аномалий температуры воздуха мая при ранних перестройках стратосферной циркуляции.

Рассмотрим теперь распределение типов аномалии температуры воздуха по месяцам внутри временного ряда ранних весенних перестроек стратосферной циркуляции. В табл. 2 символами Т и Х обозначены типовые поля, при которых аномалия температуры в целом на ЕТР была выше нормы (Т – тепло) и ниже нормы (Х – холод); цифра при символе обозначает порядковый номер типового поля данного месяца. Из данных табл. 2 следует, что определенная закономерность в годы ранних перестроек имеется, а именно – во всех месяцах без исключения на ЕТР в целом преобладают типы положительной аномалии температуры воздуха, т.е. весна и начало лета проходят под знаком преимущественно теплой погоды.

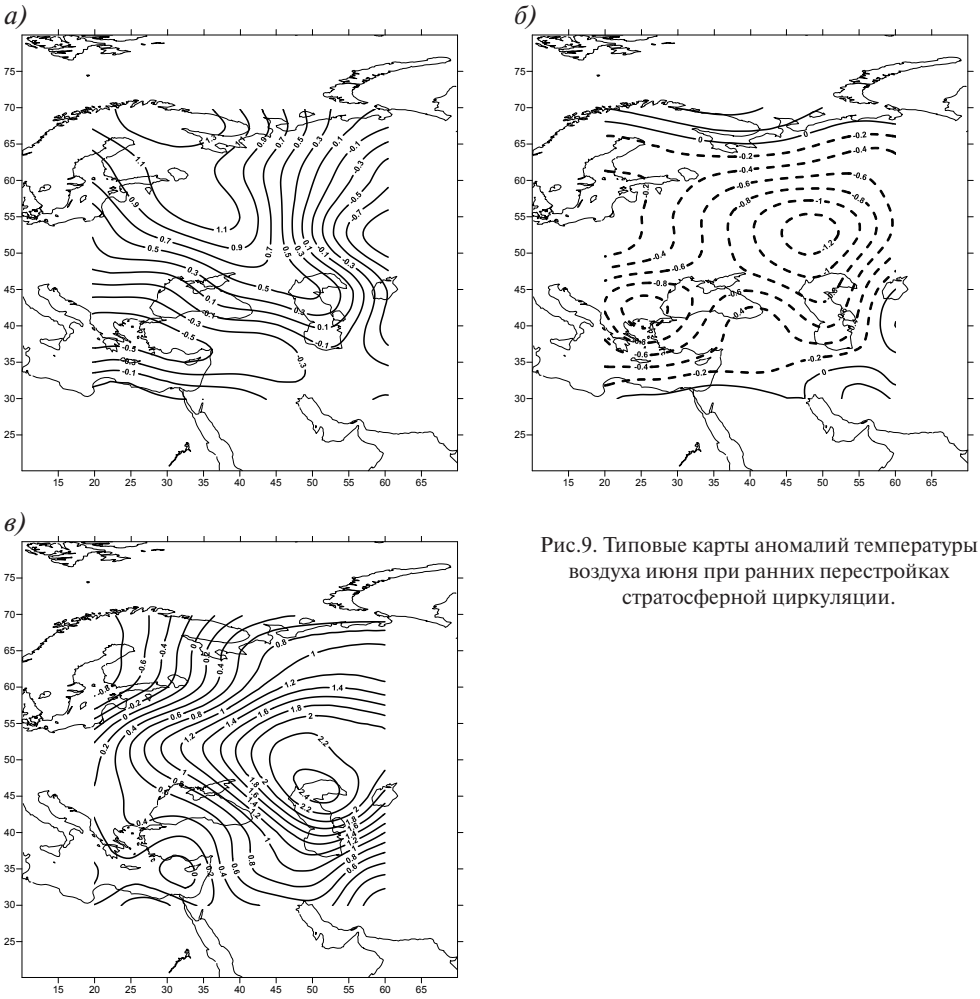


Рис.9. Типовые карты аномалий температуры воздуха июня при ранних перестройках стратосферной циркуляции.

Однако по месяцам данная закономерность выражена с разной степенью вероятности осуществления. В марте типы Т отмечаются в 71 % случаев, в апреле – в 65 %, в мае – в 59 %, в июне – в 76 %. Таким образом, реакция погоды на ранние стратосферные перестройки наиболее заметна в момент самой перестройки (март) и в начале лета (июнь). При этом повторяемость теплой погоды в марте и июне на фоне текущей успешности ДПП достаточно велика, и данный результат вполне можно использовать в качестве вспомогательного указания при подготовке ДПП.

Таблица 2

Типы полей аномалий температуры за период 1959-2010 гг. при ранней весенней перестройке циркуляции в стратосфере.

Годы ранней перестройки	Типовые поля аномалии температуры воздуха			
	март	апрель	май	июнь
1959	Т1	Х1	Х1	Т1
1961	Т1	Х1	Х1	Т1
1964	Х3	Х1	Х1	Т1
1972	Т1	Т2	Т2	Т1
1975	Т1	Т2	Т2	Т3
1977	Т2	Т2	Т3	Т3
1978	Т2	Х1	Х1	Х2
1980	Х3	Т2	Х1	Т1
1983	Т1	Т2	Т2	Х2
1985	Т1	Т2	Т2	Х2
1986	Т1	Т2	Т2	Т1
1987	Х3	Х1	Т3	Т3
1991	Х3	Т2	Т3	Т3
1992	Т1	Х1	Х1	Т1
2005	Х3	Т2	Т3	Х2
2008	Т2	Т2	Х1	Т3
2010	Т2	Т2	Т3	Т3

Поздние стратосферные перестройки

Как было показано выше, при поздних перестройках для каждого месяца с марта по июнь были получены по 2 типовых карты распределения аномалии температуры воздуха на ЕТР и в прилегающих районах – один тип с положительной аномалией (Т), другой – с отрицательной (Х). Рассмотрим каждый из них.

Март. К I типу были отнесены поля аномалий с очагом холода в районе Ботнического залива Балтийского моря и максимумом тепла на Кавказе (1958, 1962, 1963, 1966, 1971, 1976, 1981, 1984, 2001, 2006 гг.), (рис. 10*а*).

Ко II типу марта принадлежат поля с преимущественно положительной аномалией температуры воздуха на всей ЕТР и максимумом температуры в районе Южного Урала (1967, 1968, 1979, 1990, 1997, 2004, 2009 гг.), (рис 10*б*).

Апрель. I тип апреля – холодный, с минимумом температуры на Урале (1958, 1963, 1968, 1971, 1979, 1981, 1984, 1997, 2004, 2009), (рис. 11*а*).

II тип апреля – теплый (1962, 1966, 1967, 1976, 1990, 2001, 2006 гг.), (рис. 11*б*).

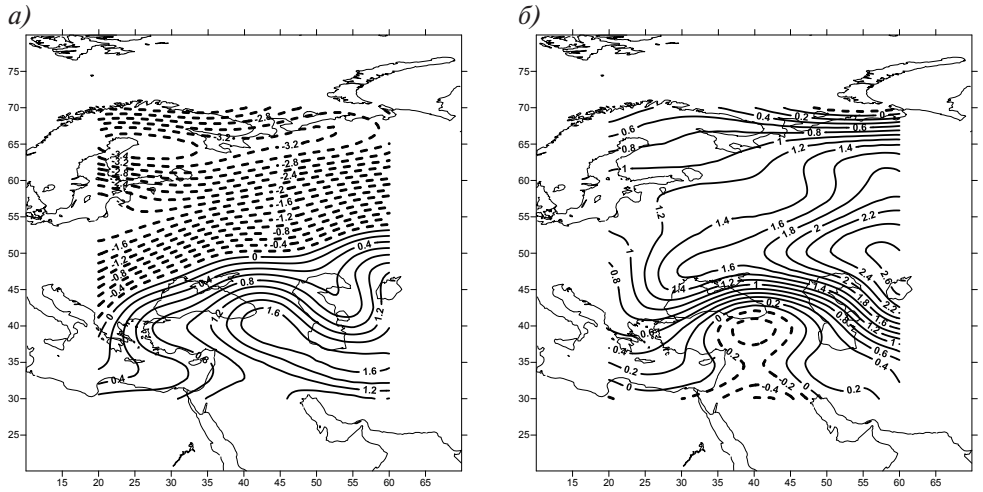


Рис. 10. Типовые карты аномалий температуры воздуха марта при поздних стратосферных перестройках.

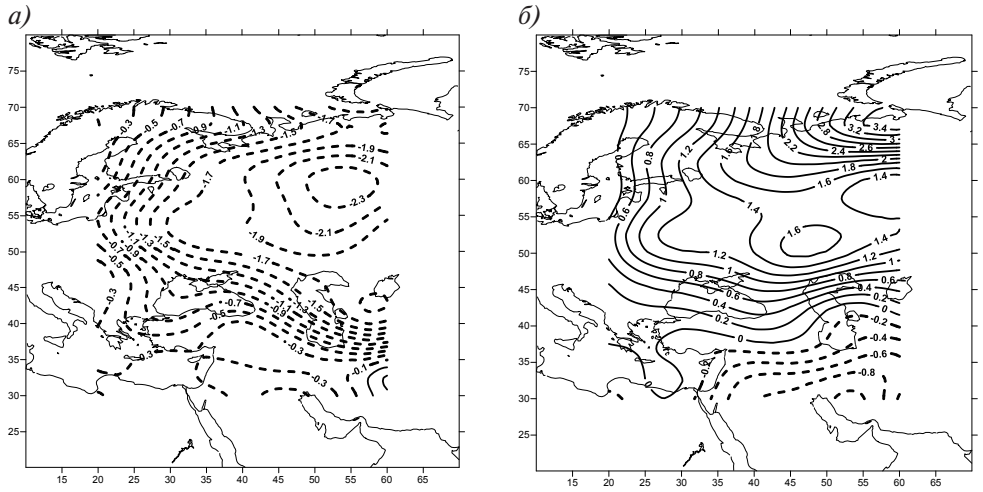


Рис.11. Типовые карты аномалий температуры воздуха апреля при поздних стратосферных перестройках.

Май. К I типу мая были отнесены поля аномалии температуры, где наблюдается один хорошо выраженный очаг тепла с центром над северной частью Восточно-Европейской равнины; небольшой очаг холода отмечается лишь за пределами ЕТР (1962, 1963, 1966, 1967, 1979, 1981, 1984, 2006, 2009 гг.), (рис. 12*а*).

Карта для II типа мая противоположна по знаку аномалий типу I, но район их максимума расположен там же (1958, 1968, 1971, 1976, 1990, 1997, 2001, 2004 гг.), (рис. 12*б*).

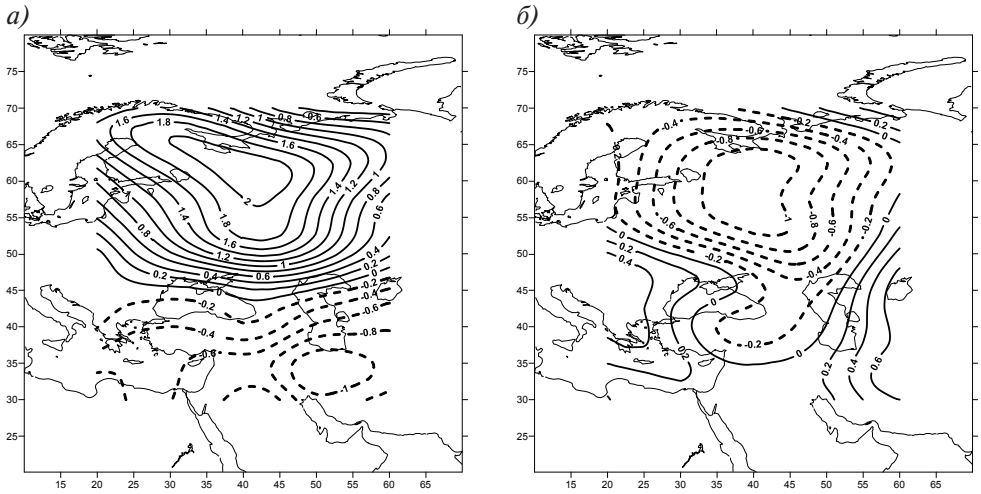


Рис. 12. Типовые карты аномалий приземной температуры воздуха для мая при поздних стратосферных перестройках.

Июнь. I тип июня – холодный, с очагами аномалий температуры в северной части Каспийского моря и на севере Восточно-Европейской равнины; отрицательные отклонения от нормы наблюдаются на всей рассматриваемой территории (1958, 1962, 1963, 1966, 1967, 1971, 1976, 1979, 1984, 1990, 2001, 2004 гг.), (рис. 13*а*).

II тип июня – теплый, с максимумом температуры на юге Восточно-Европейской равнины (1968, 1981, 1997, 2006, 2009 гг.), (рис. 13*б*).

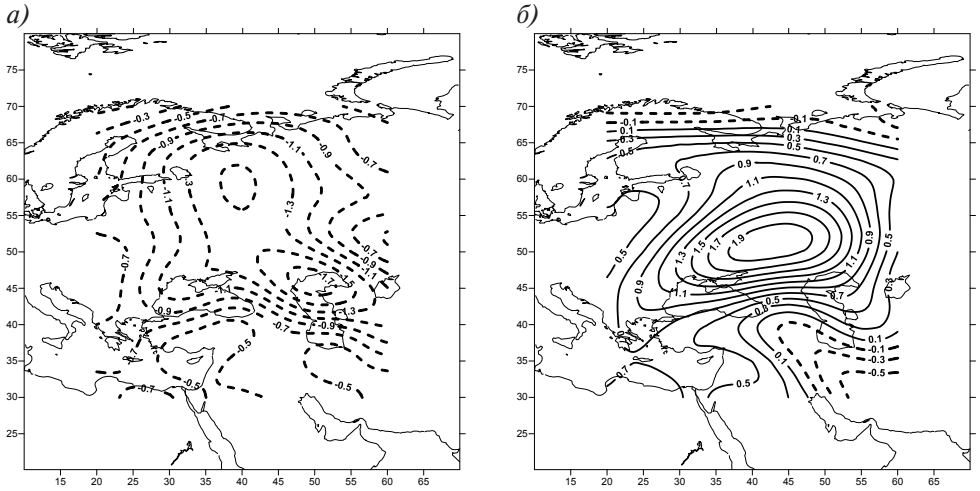


Рис. 13. Типовые карты аномалий температуры воздуха июня при поздних стратосферных перестройках.

Приведем теперь таблицу повторяемости типов аномалии температуры воздуха по годам и месяцам для случаев поздней весенней перестройки стратосферной циркуляции (табл. 3).

Таблица 3

Типы полей аномалий температуры за период 1959 – 2010 гг. при поздней весенней перестройке циркуляции в стратосфере

Годы поздней перестройки	Типовые поля аномалии температуры воздуха			
	март	апрель	май	июнь
1958	X1	X1	X2	X1
1962	X1	T2	T1	X1
1963	X1	X1	T1	X1
1966	X1	T2	T1	X1
1967	T2	T2	T1	X1
1968	T2	X1	X2	T2
1971	X1	X1	X2	X1
1976	X1	T2	X2	X1
1979	T2	X1	T1	X1
1981	X1	X1	T1	T2
1984	X1	X1	T1	X1
1990	T2	T2	X2	X1
1997	T2	X1	X2	T2
2001	X1	T2	X2	X1
2004	T2	X1	X2	X1
2006	X1	T2	T1	T2
2009	T2	X1	T1	T2

Из данных табл.3 мы видим, что при поздних стратосферных перестройках можно отметить преобладание холодной погоды, которое особенно очевидно в июне (71 %). Весной также температура преимущественно ниже нормы, но ее преобладание заметно в меньшей степени: в 59 % случаев в марте и апреле, в мае – всего в 53 % лет. При данном количестве исследованных лет результаты по марту-маю в годы поздних весенних перестроек стратосферной циркуляции можно считать близкими к случайным.

Выводы

В данной работе ставились две задачи: 1) произвести классификацию весенних перестроек стратосферной циркуляции с зимнего циклонического режима на летний антициклонический по срокам осуществления с комплексным использованием наиболее известных методов определения срока перестройки; 2) произвести типизацию полей средних месячных аномалий температуры воздуха на ЕТР и в прилегаю-

щих районах в марте-июне в годы ранних и поздних стратосферных перестроек за 53-летний период (1958-2010 гг.), чтобы попытаться установить возможное влияние срока перестройки на характер погоды (тепло или холод).

Получены следующие выводы:

1. Весенние перестройки стратосферной циркуляции по срокам осуществления подразделяются на три типа: ранние, средние и поздние. В работе основное внимание было уделено ранним и поздним перестройкам как двум экстремальным типам сезонного преобразования стратосферной циркуляции. Приведены определенные в работе годы ранних и поздних перестроек.
2. Анализ повторяемости типовых ситуаций поля аномалий средней месячной температуры воздуха на ЕТР в годы ранних весенних перестроек стратосферной циркуляции обнаружил очевидное преобладание в марте-июне аномально теплой погоды. Наиболее четко данная закономерность проявляется в марте (71 %) и в июне (76 %).
3. При поздних стратосферных перестройках наблюдается общий холодный фон погоды в марте-июне, особенно выраженный в июне (71 %); весной также температура преимущественно ниже нормы, но ее преобладание заметно в меньшей степени.

Нарушения выявленных закономерностей в виде лет с обратными по знаку аномалиями температуры по отношению к преобладающим, по нашему мнению, определяются воздействием иных факторов длительных изменений погоды, влияние которых надо исследовать дополнительно. Среди таких факторов наиболее вероятным представляется тепловое взаимодействие океана и атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-05-00971).

Литература

1. *Бакулина, Е.А., Угрюмов А.И.* Весенние перестройки циркуляции в стратосфере в 1958-2003 годах. // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 5, с. 25-32.
2. *Бакулина Е.А., Дунаева Е.А., Угрюмов А.И.* Связь весенних перестроек циркуляции в стратосфере с характером процессов в тропосфере в марте-июне. // Метеорология и гидрология, 2009, №2, с. 29-37.
3. *Педь Д.А.* Об определении смены типов циркуляции циркумполярного вихря в стратосфере. // Тр. Гидрометцентра СССР.1973.-Вып. 115.-С.26 – 35.
4. *Педь Д.А.* Сезонные условия погоды, связанные со сроками весенней смены циркуляции в стратосфере // Тр. Гидрометцентра СССР, 1973, вып.120, с. 57-67.
5. *Рафаилова Х.Х.* Учет особенностей циркуляции в нижней стратосфере при составлении месячных прогнозов погоды // Метеорология и гидрология, 1968, № 6, с. 33-38.
6. *Савенкова Е.Н., Погорельцев А.И.* Межгодовая и климатическая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы // Уч. зап. РГГМУ, 2010, вып. 11, с. 53-62.
7. *Угрюмов А.И.* R.A. Ebdon «A summer predictor?»,Weather, July,1966 (Р.А. Эбдон «Предсказание погоды на лето») // Метеорология и гидрология, 1967, №2, с.114-115.
8. *Угрюмов А.И.* Квазидвухлетняя цикличность весеннее-летней циркуляции атмосферы // Тр. Гидрометцентра СССР, 1971, вып. 77. – 82 с

Б. Н. Грудин, Б.Е. Ламаш, В. С. Плотников, Н. А. Смольянинов

ОЦЕНИВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА

B.N. Grudin, B.E. Lamash, V.S. Plotnikov, N.A. Smolyaninov.

ESTIMATION OF FRACTAL DIMENSION OF CLOUD COVER

Предложены алгоритмы оценивания фрактальной размерности облачного покрова по космическим снимкам. Для смоделированных изображений предложены фрактальные меры в пространственной области, которые, как и интегральная частотная характеристика, инвариантны относительно мультипликативных уменьшений масштаба. Разработанные алгоритмы могут применяться для параметризации, нелинейной фильтрации и восстановления изображений облачного покрова.

Ключевые слова: Фрактальная размерность, облачный покров, ортогональные преобразования

Algorithms estimating the fractal dimension of cloud cover on satellite images are proposed. For the model images, fractal measures in a spatial region are proposed, which, similarly to the integral frequency characteristic, are invariant under multiplicative reduction in scale. Developed algorithms can be used for parameterization, nonlinear filtering and reconstruction of images of cloud cover.

Key words: Fractal dimension, cloud cover, orthogonal transformations

Введение

Оптические характеристики облаков являются случайными скалярными полями, во-первых, из-за стохастической геометрии облачного покрова (нерегулярная причудливая форма очертаний, количество, размеры и положение в пространстве отдельных облаков), во-вторых, из-за макромасштабных флуктуаций водности облаков. Известно, что облачный покров в большинстве случаев фрактален. К фрактальным случайным полям относятся недифференцируемые поля, у которых спектральная плотность убывает по степенному закону [1]. Если процесс фрактальный и вложен в евклидово пространство с размерностью d_0, то он будет иметь размерность [1]

$$d = d_0 + (3-\beta)/2, \quad \beta \in (1,3), \quad d \in (1,3), \tag{1}$$

где β — показатель степени спадания энергетического спектра соответствующего одномерного сечения процесса.

В работе [9] B. Mandelbrot предложил обобщенную модель фрактального броуновского движения. В рамках этой модели статистически изотропные недифференцируемые поля, для которых нет выделенных пространственных масштабов, также могут иметь спектр фрактального вида. При этом фрактальная размерность поля $d = d_0+1-H$, где H — показатель Херста ($0 < H < 1$). Очевидно, что для таких полей $\beta = 2H + 1$. Моделью обобщенного броуновского движения с фрактальным спектром могут быть описаны многие реальные двумерные случайные поля облачного покрова [1,2].

Фрактальные облака обычно меньше отражают, чем плоскопараллельные облака, которые имеют такое же количество жидкой воды, и, соответственно, фрактальные облака содержат большее количество жидкой воды, чем плоскопараллельные облака, которые имеют тот же самый коэффициент отражения. Фрактальные облака обеспечивают связь между локальными измерениями, сделанными в реальных облаках, и идеализированными плоскопараллельными облаками, которые используются в крупномасштабных моделях. Показатель степени спадания β (или фрактальная размерность) оптической толщины является одним из основных параметров, определяющих горизонтальный перенос радиации: с возрастанием β горизонтальный перенос уменьшается [3].

Обычно для параметризации облачного покрова по фрактальной размерности используется метод Ричардсона, согласно которому периметр облака и его площадь связаны степенной зависимостью, показатель которой определяется фрактальной размерностью [1,2,4]. Однако на практике достаточно сложно определить периметр границы облачного покрова, которая может представлять собой многосвязанную область. Целью данной работы является разработка метода оценивания фрактальной размерности облачного покрова непосредственно по космическим изображениям без выделения границ облаков.

Моделирование изображений облачного покрова с фрактальными характеристиками

Пусть функция $f(x,y)$ представляет собой распределение яркости непрерывного изображения облачного покрова, а $F(u_1,u_2)$ и $E(u_1,u_2) = |F(u_1,u_2)|^2$ соответственно фурье-образ и энергетический спектр изображения $f(x,y)$, (x,y) — декартовы координаты в плоскости изображения, (u_1,u_2) — пространственные частоты. В полярной системе координат интегрирование энергетического спектра по углу в плоскости пространственных частот дает интегральную частотную характеристику (ИЧХ), инвариантную относительно сдвига и вращения исходного изображения [5,6]. Энергетический спектр дискретного изображения $f(j_1,j_2)$ обозначим как $E(m,n) = |F(m,n)|^2$, а в полярной системе координат дискретные представления энергетического спектра и ИЧХ запишем в виде $E(u,\theta)$ и $V(u)$ соответственно, где (j_1,j_2) — дискретные отсчеты изображения, (m,n) — дискретные отсчеты пространственного спектра, $u = (m^2 + n^2)^{1/2}$, $\theta = \mathrm{arctg}(n/m)$. Для фрактальных изображений облачного покрова ИЧХ $V(u)$ будет убывать по степенному закону, т.е. $V(u) = u^{-\beta}$. По ИЧХ $V(u)$ можно оценить фрактальную размерность.

В большинстве случаев изображение можно считать фрактальным только в некоторой ограниченной области пространственных частот. Если интервал фрактальности включает пространственные частоты из диапазона $[u_a,u_b]$, то соответствующее значение β с использованием ИЧХ находим по формуле:

$$\beta = \left[\log V\left(u_a\right) - \log V\left(u_b\right)\right] / \left[\log u_a - \log u_b\right]. \qquad (2)$$

Для однородных и изотропных стохастических полей с нулевым средним каждое значение ИЧХ $V(u)$ можно трактовать как дисперсию случайного поля. Тогда соотношение (2) может быть записано в виде:

$$\beta = \left(\log D_a - \log D_b\right) / \left(\log m_b - \log m_a\right), \tag{3}$$

где $D_a = V(u_a)$, $D_b = V(u_b)$ – дисперсии стохастических полей масштабов m_a и m_b соответственно.

Масштаб в данном случае определяется отношением размера изображения к номеру гармоники, соответствующей данному отсчету ИЧХ. Вычисленная с использованием соотношений (1) и (3) фрактальная размерность, называется дисперсионной [7].

Запишем ДПФ цифрового изображения $f(j_1,j_2)$ в виде

$$F(m,n) = A(m,n)\exp\left[i\phi(m,n)\right]. \tag{4}$$

Чисто фазовое ДПФ $Z(m,n)$ соответствует случаю, когда $A(m,n) = 1$, т.е.

$$Z(m,n) = \exp\left[i\phi(m,n)\right]. \tag{5}$$

Для фрактальных изображений энергетический спектр является изотропным и убывает с ростом пространственной частоты по степенному закону. Однако можно смоделировать изображения, энергетический спектр которых не является изотропным, но ИЧХ убывает по степенному закону. Такие изображения мы будем называть изображениями с фрактальными ИЧХ [8].

Для моделирования изображений $f_1(j_1,j_2)$ с ИЧХ, убывающей по степенному закону, используем соотношение [8]:

$$f_1(j_1,j_2) = \frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1}\sum_{n=0}^{N-1} F(m,n)\,B(m,n)\,\exp\left[i\frac{2\pi}{N}\left(mj_1 + nj_2\right)\right], \tag{6}$$

где $F(m,n)$ — ДПФ изображения $f(j_1,j_2)$, $B(m,n) = C(m,n)/V^{1/2}(m,n)$, $C(m,n) = 1/(m^2+n^2)^{\beta/2}$ — степенная дискретная функция.

При такой обработке сохраняется информация об анизотропии исходного энергетического спектра. Синтезированное по алгоритму (6) изображение можно рассматривать как результат нелинейной ВЧ, либо НЧ фильтрации исходного изображения [8]. При увеличении значений β ВЧ фильтрация переходит в НЧ фильтрацию. ИЧХ $V(u)$ синтезированных изображений является инвариантом относительно мультипликативных уменьшений масштаба в области пространственных частот, а также сдвигов и поворотов исходного изображения. Для выбора β можно использовать множество самых различных критериев, начиная от комфортного психофизического восприятия смоделированного изображения и заканчивая различными критериями оптимальности. При моделировании изображений по формуле (6) инвариантом является функция анизотропности пространственного спектра $\gamma(u) = I_{max}(u)/\langle I(u)\rangle$, где $I_{max}(u)$ — максимальное значение энергетического спектра при заданном u, а $\langle I(u)\rangle$ — среднее значение.

Для моделирования больших по информационной емкости изображений с фрактальными характеристиками вместо ДПФ во многих случаях предпочтительнее использовать другие ортогональные преобразования с действительным ядром, позволяющие сократить время расчетов и увеличить размеры изображений. В результате прямого ортогонального преобразования с действительным ядром $T(j_1,j_2;m,n)$ изо-

бражение $f(j_1,j_2)$ преобразуется в матрицу $F_T(m,n)$ [5] того же размера с элементами, которые запишем в виде аналогичном выражению (4):

$$F_T(m,n) = A_T(m,n)\,\mathrm{sgn}\left[F_T(m,n)\right], \tag{7}$$

где $A_T(m,n) = |F(m,n)|$, $(m,n) = 0,1,...,N-1$ — отсчеты ортогонального преобразования.

Аналогом выражения (6) при моделировании изображений с фрактальными характеристиками на основе обобщенной пространственно-частотной фильтрации будет выражение [8]

$$f_1(j_1,j_2) = \sum_{m=0}^{N-1}\sum_{n=0}^{N-1} A_T(m,n)B_T(m,n)\,\mathrm{sgn}\left[F_T(m,n)\right]T^{-1}(j_1,j_2;m,n), \tag{8}$$

где $T^{-1}(j_1,j_2;m,n)$ — ядро обратного ортогонального преобразования;

$B_T(m,n) = C(m,n)/V_T^{1/2}(\sqrt{m^2+n^2})$; $V_T(u)$ — аналог ИЧХ для соответствующего ортогонального преобразования в плоскости обобщенных частот.

Выделим следующие ортогональные преобразования, для которых существуют быстрые алгоритмы: дискретное косинусное преобразование $F_C(m,n_2)$ (ДКП), дискретное преобразование Хартли $F_H(m,n)$ (ДПХ) и Q — преобразование $F_Q(m,n)$ [5,6]. Для преобразования Хартли и Q — преобразования $V_Q(u) = V_H(u) = V(u)$ [6], и результаты синтеза фрактальных изображений по формуле (8) практически совпадают с результатами, получаемые с использованием выражения (6).

Оценивание фрактальной размерности облачного покрова по космическим снимкам

На рис. 1 показан космический снимок облачного покрова. Размер изображения (266×266) км, (N × N) = (1024 × 1024). В левом верхнем углу показан спектр Фурье изображения, который является анизотропным. Использовать метод Ричардсона для оценивания фрактальной размерности облачного покрова, визуализированного на данном изображении, практически невозможно.

На рис. 2 показана зависимость $\log_2 V$ от $\log_2 k$, где k — номер кольцевой зоны ИЧХ для исходного изображения (кривая *1*). Зависимость *1* показывает, что на высоких частотах изображение не является фрактальным, поскольку исходная кривая сильно сглажена на пределе разрешения в системе визуализации космического снимка. В результате преобразования исходного изображения $f(j_1,j_2)$ по формуле (6) при различных значениях β получаем серию изображений $f_1(j_1,j_2)$ со степенными ИЧХ. Оптимальное изображение моделировалось в соответствии с критерием минимума среднеквадратического расстояния $\rho(f,f_1) = \sqrt{M[(f(j_1,j_2) - f_1(j_1,j_2))^2]}$, где M — оператор усреднения [9]. В нашем случае расстояние $\rho(j_1,j_2)$ между исходным изображением и смоделированным не превышает 0,011 при β = 2,8 (прямая 2), d = 2,6, H = 0,4. На рис. 3 показано контрастированное оптимальное изображение $f_1(j_1,j_2)$, для которого ИЧХ в двойном логарифмическом масштабе также является прямой и β = 2,8. Важно отметить, что данная технология оценивания фрактальной размерности не зависит от контраста обрабатываемого изображения, а следовательно, и от условий освещения при визуализации облачного покрова.

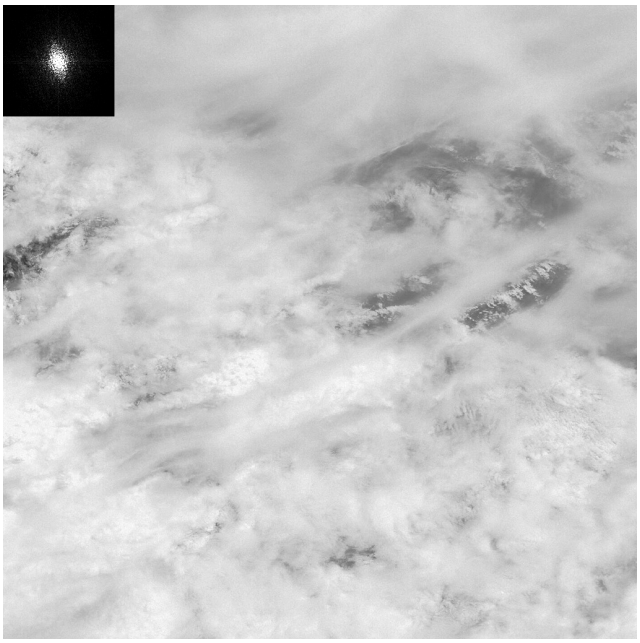


Рис. 1. Изображение облачного покрова

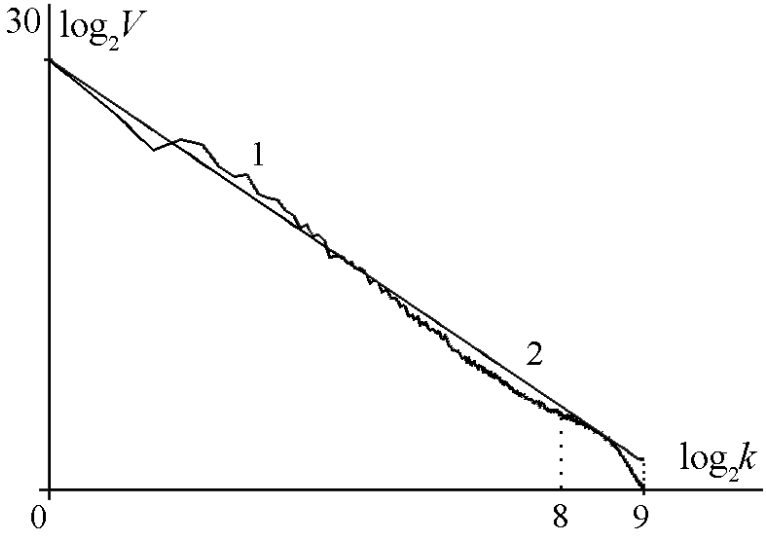


Рис. 2. ИЧХ облачного покрова в двойном логарифмическом масштабе

Исходя из соотношения (3), можно предположить, что и в пространственной области для фрактальных изображений логарифм отношения дисперсий изображе-

ний на двух соседних масштабах также должен сохраняться [8], т.е. для изображений облачного покрова с фрактальными ИЧХ должны существовать фрактальные меры, инвариантные относительно мультипликативных изменений масштаба. Пусть $g_1(j_1,j_2)$ и $g_2(j_1,j_2)$ – дискретные изображения одного размера, полученные при уменьшении масштаба исходного изображения $g(j_1,j_2)$, но изображение $g_2(j_1,j_2)$ дополнительно сглажено низкочастотным фильтром. Изображения $g_1(j_1,j_2)$ и $g_2(j_1,j_2)$разобьем на M одинаковых достаточно малых областей, содержащих, например, (2×2) или (3×3) отсчета, и вычислим в этих областях соответствующие локальные дисперсии D_{1i} и D_{2i}, где i— номер области. Построим фрактальную меру, которая для случая уменьшения масштаба при сглаживании изображения $g_2(j_1,j_2)$ в два раза (относительно масштаба изображения $g_1(j_1,j_2)$) имеет вид:

$$L_D = \log_2\left(\sum_{i=1}^{M} D_{1i} / \sum_{i=1}^{M} D_{2i}\right) \tag{9}$$

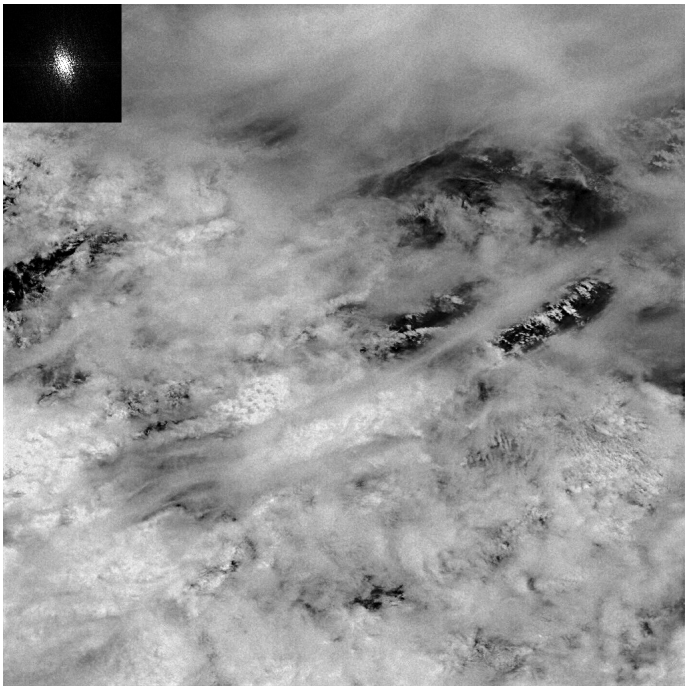


Рис. 3. Изображение облачного покрова с фрактальной ИЧХ

Инвариантность этой меры относительно кратных уменьшений масштаба устанавливалась следующим образом. Моделировались стохастические фрактальные изображения со степенным энергетическим спектром при различных значениях $\beta\in(1,3)$ с использованием методов и алгоритмов, изложенных в работе [10]. Для смоделированных изображений строились их уменьшенные аналоги g_P ($P = N/l$, l = 1,2,4,8,...) за счет обрезания соответствующей высокочастотной октавы их

фурье-образов. Каждое из полученных изображений g_P в свою очередь подвергалось сглаживанию низкочастотным фильтром с единичным коэффициентом передачи [5]. Сглаживающее окно имело размер (3×3) элемента, что примерно соответствует уменьшению масштаба вдвое.

Для каждого масштаба P вычислялась фрактальная мера $L_D(P)$ вида (9) и фрактальная размерность d=2+(3–β)/2. Моделированием на ЭВМ установлено, что для P≥32 и β∈(1,3) при заданном значении β мера $L_D(P)$ остается практически неизменной. Например, при β = 2 $L_D(P)$ = 2,789 ± 0,015. При значениях P≤16 инвариантность меры (9) относительно дальнейших уменьшений масштаба для фрактальных изображений нарушается, поскольку статистические характеристики при таких размерах выборки становятся неустойчивыми. Зависимость между β и $L_D(P)$ хорошо аппроксимируется степенной функцией:

$$\beta \approx -0{,}0564 L_D^2(P) - 0{,}6378 L_D(P) + 4{,}2036. \tag{10}$$

Аналогично можно построить другую меру (триангуляционную [7]), которая для случая уменьшения масштаба в два раза имеет вид:

$$L_{tr} = \log_2\left(\sum_{i=1}^{M}(S_{1i}-1) / \sum_{i=1}^{M}(S_{2i}-1)\right), \tag{11}$$

где S_{1i} и S_{2i} — локальные площади областей, содержащих по 4 ближайших элемента, соответственно для неслаженного изображения и изображения сглаженного низкочастотным фильтром с единичным коэффициентом передачи; i — номер области; M — число областей.

Как и для меры (9), установлена инвариантность меры (11) относительно кратных уменьшений масштаба для P≥32 и β∈(1,3). Зависимость между β и $L_D(P)$ хорошо аппроксимируется степенной функцией

$$\beta \approx -0{,}0612 L_{tr}^2(P) - 0{,}5598 L_{tr}(P) + 4{,}185. \tag{12}$$

Для преобразованных по алгоритмам (6) и (8) изображений рассмотренные выше меры также инвариантны относительно кратномасштабных уменьшений масштаба. Так, для изображения, представленного на рис. 3, среднеквадратическое уклонение от заданных при моделировании и вычисленных с использованием соотношений (10) и (12) значений β не превышает 0,05, в то время как для исходного изображения 1,72 ≤ β ≤ 3,1. При увеличении числа отсчетов и для статистически более однородных изображений меры (10), (12) становятся значительно более устойчивыми. Для цифровых изображений облачного покрова с размерами, например (N × N) = (32 768 × 32 768) отсчетов вместо ДПФ можно использовать косинусное преобразование, для которого разработаны алгоритмы, позволяющие осуществлять данное преобразование значительно быстрее, чем вычисляется преобразование Фурье, при существенно меньшем требуемом для вычислений объеме памяти и практическом отсутствии краевых эффектов в процедуре циклической фильтрации [6].

Заключение

На основе обобщенной пространственно-частотной фильтрации разработаны алгоритмы синтеза космических снимков облачного покрова с фрактальными характеристиками, инвариантными относительно мультипликативных уменьшений масштаба. Синтезированные изображения обладают максимальным сходством с исходными изображениями за счет сохранения фазы- либо знака амплитуды соответствующего ортогонального преобразования. Это позволяет оценить с высокой точностью фрактальную размерность облачного покрова без выделения границ облаков. Разработанные методы и алгоритмы позволяют осуществлять нелинейную фильтрацию, а в некоторых случаях и восстановление изображений. При этом ИЧХ спектров отфильтрованных и восстановленных изображений не зависят от особенностей частотной характеристики системы визуализации и контраста исходных изображений. Применение графических процессоров GPGPU с архитектурой NVIDIA (технология CUDA) [11] позволило нам значительно увеличить производительность вычислений и соответственно обработать большой массив космических снимков облачного покрова, полученных в том числе и с высоким разрешением. Установлено, что с вероятностью 75 % наблюдается выпадение осадков, если фрактальная размерность облачного покрова примерно равна 2,65. Сильные осадки наблюдаются при фрактальной размерности облачного покрова большей 2,76.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2013 годы» (госконтракт № 16.515.12.5005).

Литература

1. *Грудин Б.Н. , Плотников В.С. , Кисленок Е.Г., Фищенко В.К.* Анализ, фильтрация и декомпозиция микроскопических изображений на основе ортогональных преобразований // Автометрия, 2007, т. 43, № 1, с. 24-36.
2. *Грудин Б.Н. , Плотников В.С. , Смольянинов Н.А.* Моделирование изображений с заданными фрактальными характеристиками // Автометрия, 2010, т. 46, № 3, с. 215-221.
3. *Плешанов В.С., Напрюшкин А.А., Кибиткин В.В.* Особенности применения теории фракталов в задачах анализа изображений // Автометрия, 2010, т. 46, № 1, с. 86-96.
4. *Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А.* Новейшие методы обработки изображений. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
5. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений. т. 1, 2. – М.: Мир, 1982.
6. *Пустовалов Е.В., Войтенко О.В., Грудин Б.Н., Плотников В.С.* Графические процессоры в задачах электронной томографии // Автометрия, 2012, т. 48, № 1, с. 72-79.
7. *Розанов Ю. А.* Случайные процессы. – М.: Наука, 1971. – 288 с.
8. *Hayakawa M., Nakamura T., Iudin D., Michimoto K., Suzuki T., Hanada T., Shimura T.* On the fine structure of thunderstorms leading to the generation of sprites and elves: Fractal analysis // Geophys. Res. Letters, 2005, v. 110. D06104.
9. *Mandelbrot B.B.* Fractals Form, Chance and Dimension. San-Francisco: W.H. Freeman and Company, 1977. – 365 p.
10. *Schroder M.R.* Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from The Infinite Paradise // Freeman. New York, 1991. – 528 p.
11. *Zhexian Luo, Chongjian Liu* A validation of the fractal dimension of cloud boundaries // Geophys. Res. Letters, 2007, v. 34. L03808.

ОКЕАНОЛОГИЯ

О.В. Хаймина, В.Д. Бойцов, И.П. Карпова

ВЕКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА МОРЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

O.V. Khaimina, V.D. Boitsov, I.P. Karpova

SECULAR VARIATIONS IN CLIMATE SEAS NORTH-WEST RUSSIA

Для исследования изменений климата морей северо-запада России за последние 110 лет использован интегральный климатический индекс (ИКЛ). Рассмотрена внутренняя структура его колебаний по результатам спектрального и вейвлет анализов. В целом частотный состав межгодовой динамики климатических индексов Белого, Баренцева и Балтийского морей идентичен. Различия проявляются во временной изменчивости высокочастотных квазигармонических составляющих. Приведены результаты экстраполяции нелинейной трендовой компоненты климатических индексов морей до 2020 г.

Ключевые слова: колебания климата, полицикличность, интегральный климатический индекс, спектральный анализ, вейвлет-анализ, моря северо-запада России.

To study the climate change of north-west Russia seas for the last 110 years, the Integral Climate Index has been used. Spectral and wavelet analysis has been chosen to reveal the structure of the ICI series. General frequency characteristics of the White, Barents and Baltic seas are identical. Some differences are revealed in the high frequency quasi-harmonic components. The results of the climate indices' elicited non-linear trend extrapolation for the seas till 2020 year are given.

Keywords: variations in climate, polycyclic, integrated climate index, spectral analysis, wavelet analysis, seas of the north-west Russia.

Вековые изменения гидрометеорологического режима морей северо-запада России протекают на фоне колебаний климатов Земли и Солнца. В настоящее время этим вопросам уделяется повышенное внимание, так как в конце XX – начале XXI столетий отмечено значительное потепление климата преимущественно в Северном полушарии. Многочисленные исследования причин таких изменений проводятся в рамках двух основных гипотез: специалисты первой полагают, что потепление обусловлено главным образом ростом положительной части теплового баланса Земли из-за увеличения в атмосфере концентрации парниковых газов вследствие промышленных выбросов [21]; согласно второй точки зрения, этот климатический сдвиг является следствием наличия полициклической структуры в динамике развития природных процессов под влиянием внешних и внутренних факторов [1,2,6,13,14,16 и др.].

Для мониторинга климатических изменений используются как продолжительные временные ряды измеряемых гидрометеорологических величин (температура и влажность воздуха, атмосферное давление, температура воды, уровень моря, сток рек, ледовитость и др.), так и различные индексы, учитывающие изменчивость климатообразующих факторов, такие, например, как числа Вольфа, продолжительность земных суток; индексы, отражающие развитие аномалий характеристик циркуляции в атмосфере (Индекс Северо-Атлантического Колебания NAO, западная, восточная и меридиональная формы циркуляции атмосферы [3,9,10,17]) и другие.

Помимо индексов, характеризующих развитие процессов на Земле планетарного и полушарного масштабов, используются различные региональные индексы. Так, для анализа колебаний климата в районе Баренцева моря В.Д. Бойцовым [6] был предложен среднегодовой интегральный климатический индекс (ИКЛ), который учитывает суммарную изменчивость тепловых климатообразующих факторов, какими являются температура воздуха и воды, а также ледовитость моря.

В настоящей работе аналогичные климатические индексы были рассчитаны для акваторий Белого, Балтийского и Баренцева морей за период 1900-2009 гг.

В качестве исходных данных использовались временные ряды следующих характеристик:

– среднемесячные значения температуры воздуха по станциям Белого (Кандалакша, Онега, Архангельск), Балтийского (Хапаранда, Санкт-Петербург, Калининград) и Баренцева (Вардё, Канин Нос) морей с 1900 по 2009 г. – архив NOAA NCDC GHCN version 2 (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/ /.NCDC/.GHCN/.v2/.raw/.mean/.temp/);
– среднемесячные значения температуры поверхности воды (ТПО) с 1900 по 2009 г. в сетке 2°x2° акватории Белого (5 узлов), Балтийского (12 узлов) и Баренцева (62 узла) морей – архив NOAA NCDC ERSST version3b Extended reconstructed sea surface temperature (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/. ERSST/.version3b/.sst/);
– средняя ледовитость Баренцева моря за май-июль, выраженная в % площади свободной ото льда с 1900 по 2009 г. (данные Мурманского УГМС);
– средняя за декабрь-май ледовитость Белого моря, выраженная в % площади занятой льдом с 1900 по 1985 г. [7];
– максимальная за ледовый период ледовитость Балтийского моря, выраженная в % площади занятой льдом с 1900 по 2010 г. ([5]; данные ледового отдела СЗУГМС).

Имевшиеся для отдельных станций пропуски среднемесячной температуры воздуха предварительно восстанавливались с использованием регрессионных зависимостей (r = 0,81-0,98) с данными тех ближайших пунктов, где массивы были без пробелов. Количество групповых пропусков от общей длины ряда не превышало 12-15 %, а единичных было менее 1 %.

Для получения данных о средней за декабрь-май ледовитости Белого моря в период 1986-2009 гг. была составлена регрессионная зависимость ледовитости Белого моря от среднемесячных значений температуры воздуха, осредненных по трем метеостанциям Белого моря. Зависимая выборка содержала данные с 1913 по 1985 г., коэффициент

корреляции на этом временном интервале составил – 0,94. Высокая корреляция между ледовитостью Белого моря и температурой воздуха в зимний период отмечалась также в работах И.О. Думанской [10], а ранее Л.Р. Лукина и С.В. Снеговской [7].

Значения климатических индексов для районов трех морей северо-запада России рассчитывались по формуле [6]:

$$IKl_j = \sum\left[\left(Ta_j - \overline{Ta_j}\right)/\sigma_{Taj} + \left(Tw_j - \overline{Tw_j}\right)/\sigma_{Tw_j} + \left(L_j - \overline{L_j}\right)/\sigma_{Lj}\right],$$

где IKl_j – интегральный климатический индекс j-того моря; Ta_j, Tw_j – фактические значения температуры воздуха и воды (°С) соответственно; Lj – фактическая ледовитость (%); Ta_j, Tw_j, Lj – средние многолетние значения температуры воздуха, воды и ледовитости; σ_{Taj}, σ_{Twj}, σ_{Lj} – среднеквадратические отклонения температуры воздуха, воды и ледовитости.

Как следует из формулы, все исходные гидрометеорологические параметры были нормированы, таким образом, значение климатического индекса, равное «0», соответствует норме за 1900-2009 гг.

Временная изменчивость климатических индексов морей северо-запада России в XX – начале XXI веков представлена на рис. 1, первичные статистики рядов приведены в табл. 1.

Следует отметить, что ранее значения климатического индекса Баренцева моря рассчитывались с учетом данных о температуре воды слоя 0-200 м на станциях 3-7 разреза «Кольский меридиан» [6]. Сравнение климатических индексов Баренцева моря за период 1900-2009 гг., полученных как с учетом температуры поверхности воды в узлах сетки 2°x2°, так и по данным разреза «Кольский меридиан», не выявило между выборками статистически значимых различий по среднеквадратическому отклонению (СКО) (табл. 1), а коэффициент корреляции между ними составил 0,96. Поэтому в нашем исследовании рассмотрены значения климатического индекса Баренцева моря, полученные с использованием ТПО.

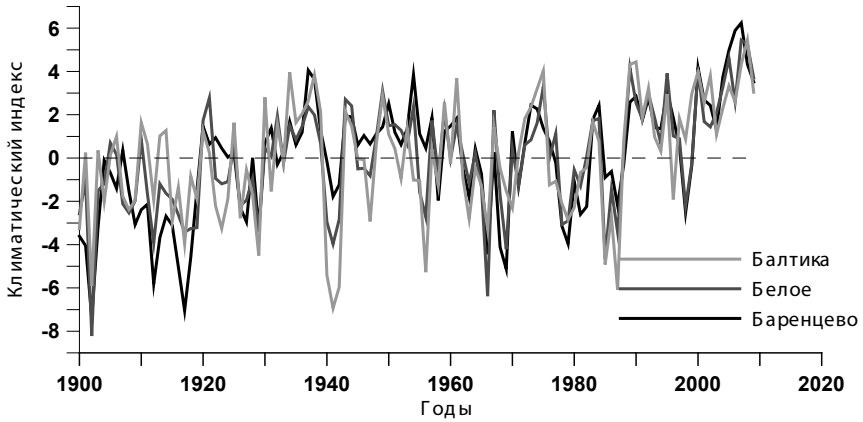


Рис. 1. Изменчивость климатических индексов морей северо-запада России в XX – начале XXI веков

Таблица 1

Первичные статистики временных рядов климатических индексов морей северо-запада России (1900-2009 гг.)

Море	Характеристики временных рядов			
	максимум	минимум	амплитуда	СКО
Балтийское	5,22	-6,91	12,13	2,65
Белое	5,44	-8,22	13,67	2,44
Баренцево	6,24	-7,42	13,66	2,67
Баренцево*	6,03	-7,06	13,09	2,75

* ИКЛ для Баренцева моря, рассчитанный с использованием данных о температуре воды слоя 0-200 м на ст. 3-7 разреза «Кольский меридиан».

Анализ линейных трендов рядов климатических индексов морей северо-запада России показал, что их вклад в дисперсию ИКЛ во всех случаях превышает 10 % и возрастает от Балтийского к Баренцеву морю, а абсолютные величины изменений индексов за десять лет положительны и близки для всех морей (табл. 2). По нашему мнению, эти линейные тренды представляют собой положительную часть цикла с квазипериодом, существенно превышающим длину исходных рядов.

Таблица 2

Характеристики линейных трендов рядов климатических индексов морей северо-запада России (1900-2009 гг.)

Море	Вклад в дисперсию, %	Тенденция	Изменения ИКЛ за 10 лет
Балтийское	12	Увеличение	0,3
Белое	21	Увеличение	0,4
Баренцево	26	Увеличение	0,4

Вклад нелинейных трендов, аппроксимированных полиномами 3-6 степеней, возрастает до ~20-47 % (табл. 3), что свидетельствует о значительном влиянии долгопериодной квазигармонической составляющей, присутствующей в анализируемых исходных рядах. Следует отметить, что заметное увеличение вклада нелинейного тренда в дисперсию колебаний ИКЛ (на 6 %) произошло при повышении степени аппроксимирующего полинома только для Баренцева моря. При этом у индексов Белого и Баренцева морей время наступления экстремумов долгопериодных квазигармоник почти совпадает (рис. 2). Для ИКЛ Балтийского моря максимум и минимум долгопериодного цикла в XX веке выражены слабее и моменты наступления экстремумов несколько не совпадают с аналогичными показателями для ИКЛ остальных морей.

Спектральный состав колебаний климатических индексов Белого, Баренцева и Балтийского морей был установлен с использованием нескольких пакетов прикладных программ: «Statistica», «AutoSignal», «Bouen» и «Призма», Последний был разработан сотрудниками Российского государственного гидрометеорологического университета [15]. Использование программных продуктов, в которых применяются различные математические подходы для выявления скрытых периодичностей,

позволяет путем сравнения частотного состава получить более достоверные оценки присутствующих в межгодовой динамике ИКЛ ритмических колебаний.

Таблица 3

Вклад нелинейных трендов, аппроксимированных полиномами различной степени, в дисперсию исходных значений климатических индексов морей северо-запада России (в %)

Море	Степень полинома			
	3	4	5	6
Балтийское	~20	~20	~20	~20
Белое	~30	~32	~32	~33
Баренцево	~41	~45	~47	~47

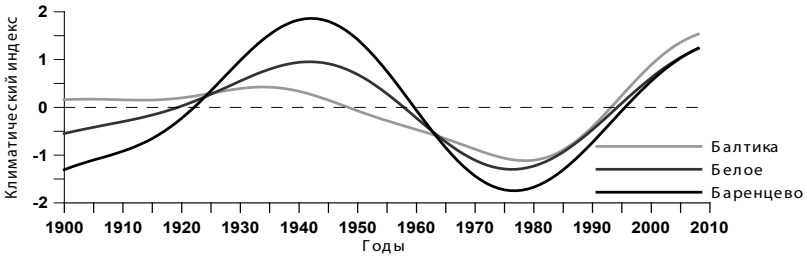


Рис. 2. Долгопериодные составляющие ИКЛ морей северо-запада России

При расчете спектральной плотности с помощью программ, где применен алгоритм быстрого преобразования Фурье, в настоящей работе были использованы рекомендации [11,20], согласно которым для выбора разумного компромисса между повышением разрешающей способности спектра при увеличении числа сдвигов автокорреляционной функции (P) и одновременным ростом ошибок ее оценивания выбираются P в интервале от $n/3$ до $n/2$ (n - длина исходного ряда). Полученные результаты показали, что частотная структура межгодовых колебаний климатических индексов Белого, Баренцева и Балтийского морей в целом идентична (табл. 4). Значимые максимумы спектральной плотности соответствуют периодам 13-17, ~ 8, 5-6 лет и 2-3 года. При этом прослеживается тенденция увеличения вклада гармоники ~ 13-17 лет от Балтийского к Баренцеву морю и обратная тенденция для гармоники ~ 8 лет (табл. 4). Вклад высокочастотных колебаний в изменчивость климатического индекса всех морей достаточно большой и максимален для Балтийского моря.

Наличие близкой частотной структуры многолетних колебаний климатических индексов трех морей определяет достаточно высокую степень их статистической сопряженности. Коэффициент корреляции между исходными значениями индексов Белого и Баренцева морей составляет $r = 0{,}84$, Белого и Балтийского $r = 0{,}82$, Баренцева и Балтийского $r = 0{,}62$ (табл. 5). Критическое значение выборочного коэффициента корреляции при уровне значимости $\alpha = 0{,}01$ и длине ряда $n = 110$ составляет $r = 0{,}25$.

Таблица 4

Средние значения вклада квазипериодических составляющих в колебания климатических индексов Белого, Баренцева и Балтийского морей (в %), выделенных по максимумам спектральной плотности с помощью различных методов анализа

Море	Период, год			
	13-17	~ 8	5-6	2-3
Балтийское	12	18	14	19
Белое	21	12	10	13
Баренцево	21	10	11	14

Данные табл. 5 подтверждают вышеуказанное положение о более тесной согласованности климатических изменений в этих морях в области низкочастотных колебаний и свидетельствуют об уменьшении статистической связи при увеличении частоты исследуемых квазигармоник. Исключение составляют результаты анализа сопряженности ИКЛ Балтийского и Белого морей, у которых наименьший коэффициент корреляции имеет место у высокочастотных (2-3-летних) колебаний, тогда как величина связи между остальными циклами почти одинакова (r = 0,83-0,85). Менее тесная статистическая связь между соответствующими циклическими компонентами, присутствующими в колебаниях климатических индексов Баренцева и Балтийского морей, может быть связана с региональными особенностями их гидрометеорологического режима, которые во многом определяются физико-географическим положением морей и характеристиками их водообмена с прилегающими водными акваториями, а также большей «полифонией» изменчивости, характерной для Балтийского моря.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между отдельными квазипериодическими составляющими ИКЛ Балтийского, Белого, Баренцева морей

Море	Периоды квазигармонических компонент									
	~ 60		13-17		~ 8		5-6		2-3	
	Балтика	Белое	Балтика	Белое	Балтика	Белое	Балтика	Белое	Балтика	Белое
Белое	0,84	1,00	0,83	1,00	0,84	1,00	0,85	1,00	0,71	1,00
Баренцево	0,66	0,96	0,63	0,86	0,51	0,78	0,74	0,74	0,42	0,71

Обращает на себя внимание наличие хорошо выраженной нестационарности по амплитуде у большинства выделенных квазипериодических составляющих. Лишь у амплитуд квазигармоник с периодом 13-17 лет «биения» проявляются слабо (рис. 3). При этом максимальные амплитуды колебаний отмечаются практически одновременно во всех трех морях. Заметим, что огибающие этих гармоник тоже имеют свою квазипериодичность (от ~ 30 лет для 2-3-летней составляющей до ~ 60 лет для 5-6-летней и ~ 8-летней составляющих), поэтому и создается впечатление хаотичности в исходных рядах.

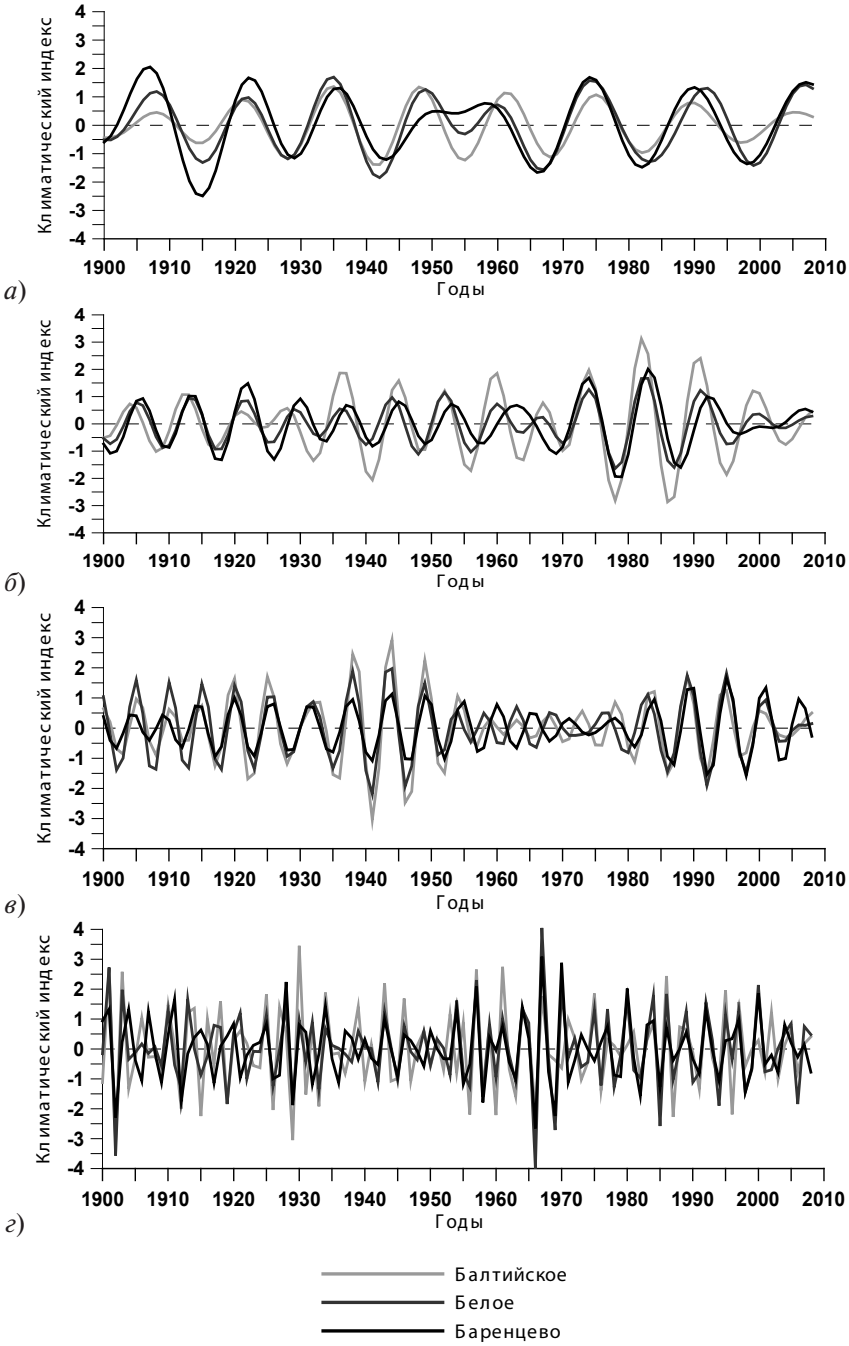


Рис. 3. Межгодовая изменчивость амплитуд выделенных квазигармонических составляющих: *а* – 13-17 лет; *б* – ~ 8 лет; *в* – 5-6 лет; *г* – 2-3 года

Для более детального исследования нестационарности выделенных цикличностей был применен вейвлет-анализ. Расчеты коэффициентов вейвлет-преобразования выполнены в программных пакетах «AutoSignal v.1.6» и MATLAB, где в качестве базисной функции применялся вейвлет Морле, получивший распространение при анализе климатических изменений гидрометеорологических параметров [4,16]. Масштаб вейвлета не превышал половины длины исходного ряда.

На рис. 4 представлены результаты расчетов в пакете MATLAB. По сравнению с результатами аналогичных расчетов в пакете AutoSignal v.1.6, данный вариант позволяет более детально проследить изменчивость исследуемых характеристик на всех интересующих временных интервалах.

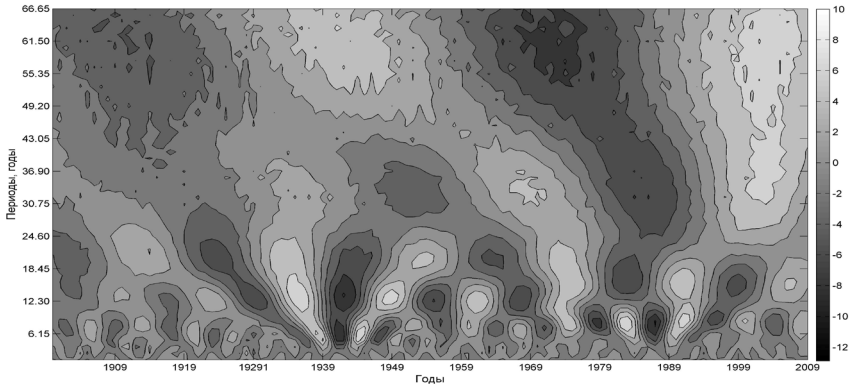
Для всех морей наиболее стабильной является 13-17-летняя компонента, но значимость ее в отдельные годы существенно различается. Так, для Балтийского моря в XX и начале XXI столетий вклад в общую дисперсию этой компоненты был относительно невелик по сравнению с 30-50-ми годами прошлого века, когда наблюдалось потепление Арктики. Для Баренцева моря в середине прошлого века, напротив, характерно ослабление роли этой цикличности. Квазивосьмилетняя компонента более значима для Балтийского моря по сравнению с Белым и Баренцевым морями, что подтверждают ранее проведенные расчеты (см. табл. 4). Наиболее четко выражена цикличность с квазипериодом более 60 лет, особенно в Баренцевом море.

В многолетних колебаниях ИКЛ Балтийского моря локальные экстремумы имеют ритм с квазипериодом 35-40 лет (рис. 4 *а*), который практически отсутствует в динамике ИКЛ двух других морей (рис. 4). Данная ритмичность четко выделяется также в колебаниях температуры воды Балтийского моря (рис. 5). Ее суперпозиция с квазивековым циклом ИКЛ может влиять на сдвиг времени наступления максимума и минимума нелинейного тренда этого моря относительно двух других морей северо-запада России.-

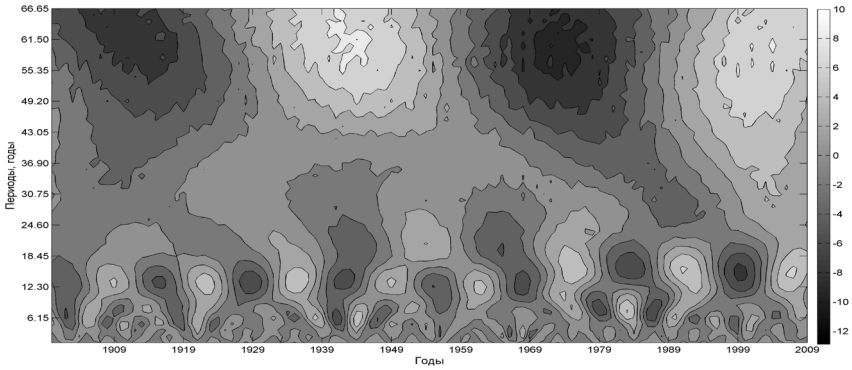
К сожалению, достаточно продолжительных рядов инструментальных наблюдений, выполненных с одинаковой и необходимой точностью, для более корректного анализа долгопериодной (квазивековой) составляющей пока нет.

Аналогичные расчеты коэффициентов вейвлет-преобразований для исходных гидрометеорологических рядов (температуры воды и воздуха, ледовитости) показали, что всем им присущи те же основные цикличности, которые присутствуют в колебаниях соответствующих ИКЛ.

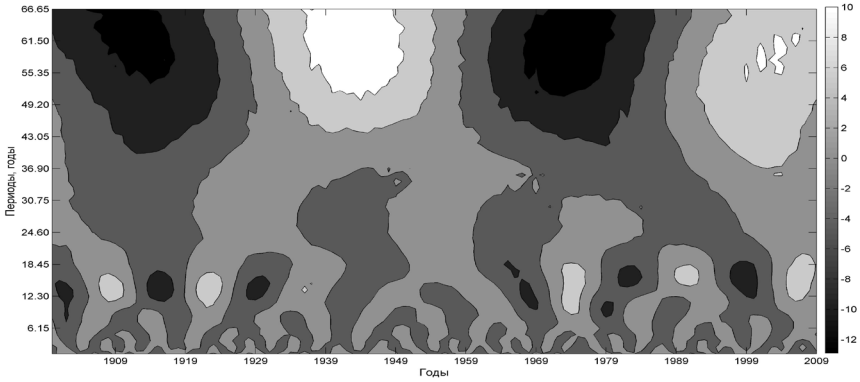
Короткопериодные флюктуации ИКЛ трех морей, как уже отмечено выше, происходят на фоне более выраженных долгопериодных изменений климата. Рассмотрев совместно результаты вейвлет-анализа и межгодовую изменчивость амплитуд квазигармонических составляющих с периодами 8-9 лет и менее (рис. 3-4), можно заметить, что долгопериодные колебания, выявленные у ИКЛ, близки биениям у амплитуд короткопериодных квазигармоник для всех исследованных морей. Изменения амплитуды, отмеченные у 2-3-летней гармоники и близкие к периоду 35-40 лет, ярко выделяются только для Балтийского моря. Возможно, существование этой гармоники обусловило особенности трендовой составляющей в Балтийском море и ее более слабую корреляцию с аналогичными компонентами ИКЛ других исследованных морей.



а)



б)



в)

Рис. 4. Коэффициенты вейвлет-преобразования (пакет MATLAB) рядов климатических индексов Балтийского (*в*), Белого (*б*) и Баренцева (*а*) морей

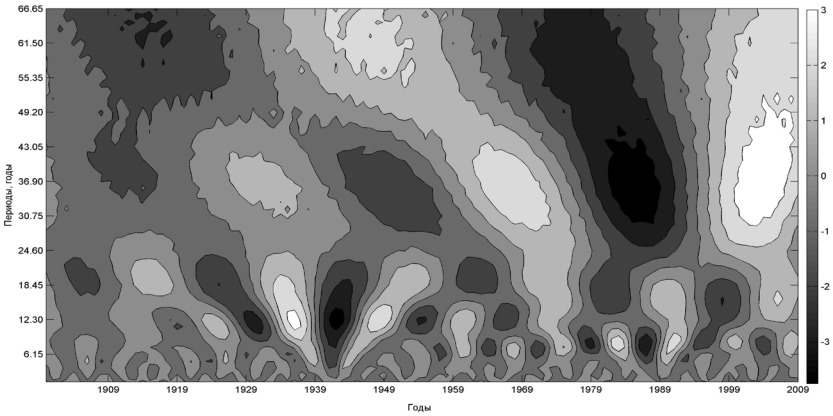


Рис. 5. Коэффициенты вейвлет-преобразования (пакет MATLAB) рядов температуры воды Балтийского моря

Рассмотрим выявленные особенности климатических изменений для акваторий морей северо-запада России в XX – начале XXI века в контексте циклической концепции динамики климата.

Исследования спектральной структуры космогеофизических, гидрометеорологических и различных других природных процессов показали их полициклическую структуру [1,2,6,8,9,12-14,16,19,22 и многие другие]. Колебания климата также являются сложным ритмическим процессом, включающим циклы различного масштаба, для которых характерна неоднородность изменений как по амплитуде, так и по фазе.

Не касаясь масштабов изменения палеоклимата, при анализе современных изменений климата, строго говоря, необходимо учитывать цикличности, начиная с многовековых. Однако ввиду ограниченной продолжительности исследуемых временных рядов остановимся ниже на рассмотрении двух цикличностей – 35-40 лет и вековой, прослеживающихся по данным об изменении ИКЛ морей северо-запада России.

О существовании циклических изменений климата с периодами 35-45 лет впервые было заявлено в конце XIX в. русскими учеными Э.А.Брикнером и А.И. Воейковым. Впоследствии климатические циклы такой продолжительности получили название «брикнеровских» и нашли свое отражение в теории о внутривековой и многовековой изменчивости климата и общей увлажненности материков Северного полушария [3,13,19]. Как уже отмечалось, квазивековой цикл присущ подавляющему большинству природных процессов на Земле. Гипотеза о причине такого цикла высказана А.С. Мониным и Д.М. Сонечкиным [16]. По мнению этих авторов, «причиной этого колебания является тройной солнечный цикл», т.е. утроенный цикл магнитной активности на Солнце, составляющий 23,5 года. Утроение возникает вследствие влияния Юпитера и Сатурна на вращение Солнца вокруг общего центра инерции Солнечной системы. В связи с этими циклическими движениями изменяется количество поступающей на Землю солнечной радиации, что, по-видимому, приводит к

возникновению квазивековых (с периодами от 60 до 100 лет) колебаний климата [16]. Для последнего столетия более характерным является 60-80-летняя продолжительность этого цикла.

Полученные нами результаты об изменчивости климатического индекса хорошо согласуются с полученными ранее оценками тенденций изменения климата в морях северо-запада России [6,17,18]. Наиболее четко выраженная цикличность с квазипериодом 60-70 лет и более была выявлена и в результате многочисленных исследований изменчивости различных гидрометеорологических параметров в морях и открытых районах Мирового океана [3,8,12,16]. Реальность существования квазивековых цикличностей подтверждается результатами спектрального анализа рядов реконструкции климата по ледовым кернам и кольцам роста долгоживущих деревьев [12,16]; а также работами исследователей цикличности других природных процессов [13,14,19].

Долгопериодные климатические колебания последних десятков лет, выявленные в тепловом режиме исследуемых морей северо-запада России, позволяют прийти к выводу о том, что более обоснованным является подход к изучению природных процессов с точки зрения цикличности их изменчивости.

На рис. 6 показана динамика среднегодовых значений климатических индексов северо-западных морей России, их долгопериодные составляющие, полученные путем аппроксимации гармоническими функциями (квази-70-летняя гармоника с учетом линейного тренда) и расчета нелинейного тренда в пакете «Призма» [15]. Период гармонической составляющей определялся по максимуму коэффициента корреляции с рассчитанным нелинейным трендом. Результаты экстраполяции квазивековых трендов до 2020 г. также представлены на рис. 6.

Значения трендовых составляющих ИКЛ в 2010 г. близки к максимумам за весь 110–летний период. Колебания квазипериодических составляющих более высокого порядка могут вносить определенный вклад в числовые значения климатического индекса в конкретном году, но общий тепловой фон пока остается положительным. Так, максимальные изменения ИКЛ на отдельных интервалах продолжительностью менее 5 лет соизмеримы или даже превышают амплитуды нелинейных трендов за весь рассматриваемый период.

Экстраполяция выявленной тенденции изменения нелинейной трендовой компоненты рядов климатических индексов морей северо-запада России (рис. 6) указывает на близкое окончание последней фазы потепления (70-е годы прошлого столетия характеризуются экстремальным похолоданием, после чего началось потепление, которое может продолжиться до 2010-2015 гг.). При этом смена знака тенденции ожидается последовательно: в первую очередь в бассейне Балтийского моря, затем в бассейнах Белого и Баренцева морей. Таким образом, по нашему мнению, в этом регионе потепление в ближайшие годы должно закончиться и начнется похолодание.

Исследования космогенных и глобальных геофизических процессов на Земле, выполненные специалистами в различных областях науки за последние десятилетия, подтвердили фундаментальность положения о ритмичности происходящих изменений. Необходимо дальнейшее изучение природной цикличности современными методами с целью использования результатов для долгосрочного прогнозирования климата.

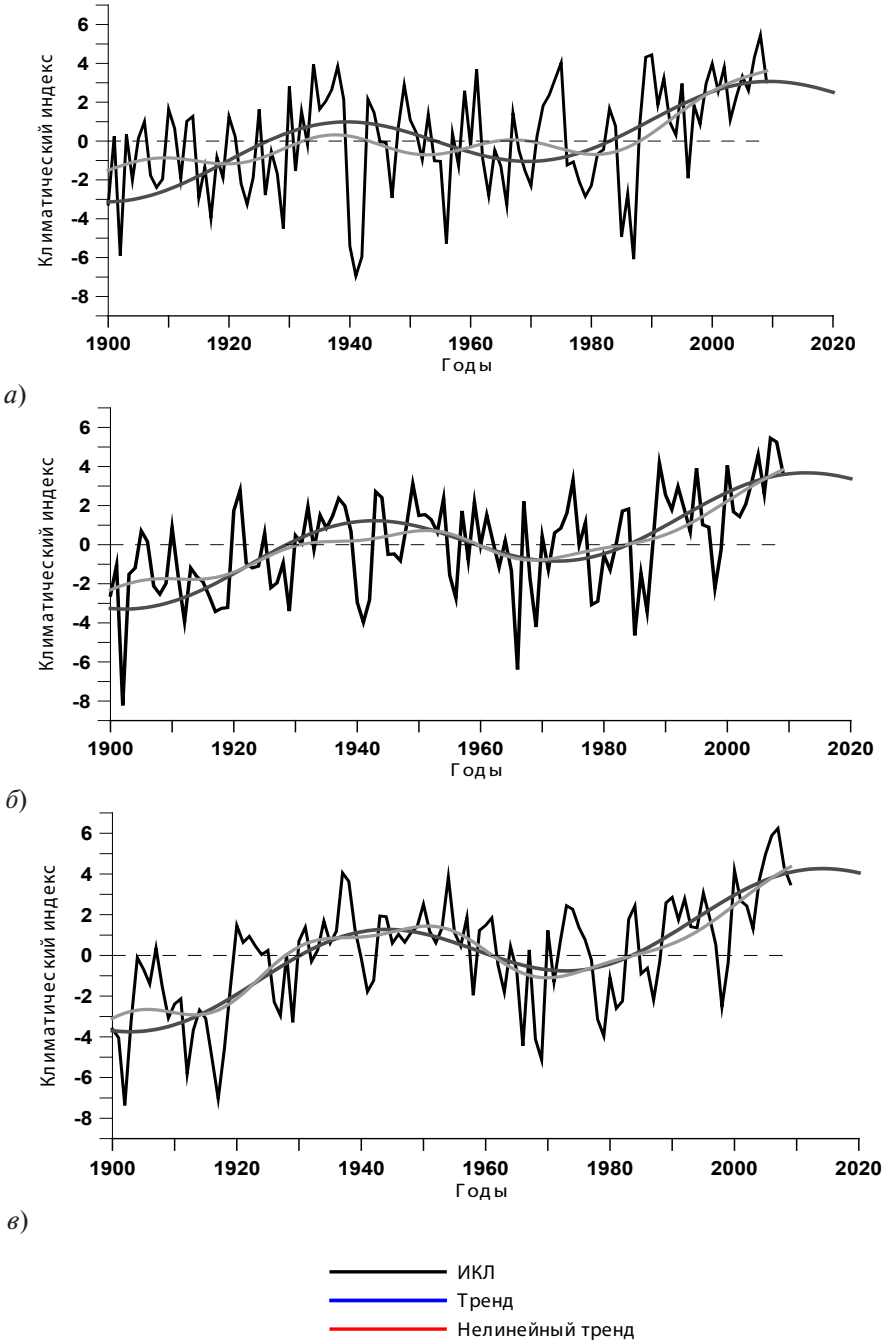


Рис. 6. Гармоническая аппроксимация долгопериодной составляющей рядов ИКЛ Балтийского (*а*), Белого (*б*) и Баренцева (*в*) морей и ее экстраполяция

Литература

1. *Абдусаматов Х.И.* Солнце диктует климат Земли.- СПб., Изд-во «Logos», 2009. – 197 с.
2. *Аверкиев А.С., Карпова И.П.* Ритмика долгопериодных изменений отдельных природных процессов. – Океанологическому факультету – 30 лет (Исследования и подготовка специалистов в области морских наук). Сборник научных трудов. – СПб., изд. РГГМУ, 2000, с.63-72.
3. *Антонов А.Е.* Природная циклоэнергетика. Гидрометеорологическое и рыбопромысловое прогнозирование. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2007.- 215 с.
4. *Белоненко Т.В., Фукс В.Р., Шилов И.О.* Опыт применения вейвлет-анализа для исследования изменчивости океанологических процессов в Курильском районе // Теория и практика эколого-географических исследований (Итоги научной работы Учебно-научного центра географии и геоэкологии в 2004 г.)/Под ред. В.В. Дмитриева, А.И. Чистобаева, Т.А. Алиева, И.О. Шилова. – СПб.: ТИН, 2005, с. 150-163.
5. *Бетин В.В., Преображенский Ю.В.* Суровость зим в Европе и ледовитость Балтики.- Л.: Гидрометеоиздат, 1962.- 110 с.
6. *Бойцов В.Д.* Изменчивость температуры воды в Баренцевом море и ее прогнозирование Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2006. – 292 с.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2: Белое море, Вып.1. Гидрометеорологические условия./ Под ред. Б.Х. Глуховского – Л.: Гидрометеоиздат, 1991, с. 193-235.
8. *Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е.* О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики, 2009, № 1 (81), с.5-23.
9. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Ритмика атмосферной циркуляции приполярных районов Атлантического океана и их космико-геофизическая обусловленность // Ученые записки РГГМУ, 2011, Вып.19, с. 86-100.
10. *Думанская И.О.* Исследование изменчивости и прогноз характеристик дрейфующего льда в Белом море // Автореф. дис. канд геогр. наук : 25.00.30. – М., 2007. – 28 с.
11. *Кей С.М.* Современные методы спектрального анализа // Тр. ТИИЭР, 1981, т. 69, № 11, с. 5-52.
12. *Кляшторин Л.Б., Любушин А.А.* Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. – М.: Изд. ВНИРО, 2005. – 246 с.
13. *Кривенко В.Г.* Природные циклы нашей планеты // Электронный журнал «Природа России», 2010 сентябрь, Режим доступа: http://www.biodat.ru/doc/lib/krivenko1.htm
14. *Максимов Е.В.* Ритмы на Земле и в Космосе. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1995. -324 с.
15. Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма»//А.С. Аверкиев, В.М. Булаева, Д.В. Густоев, И.П. Карпова – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. – 40 с.
16. *Монин А.С., Сонечкин Д.М.* Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. – М.: Наука, 2005. – 191 с.
17. *Смирнова А.И., Терзиев Ф.С., Арсенчук М.О., Яковлева Н.П.* Общие закономерности изменчивости гидрометеорологического режима Балтийского и Белого морей // Метеорология и гидрология, 2000, №11, с. 62-72.
18. *Хаймина О.В., Карпова И.П., Бойцов В.Д.* Внутривековые изменения климата Белого моря в XX - начале XXI века и прогноз его состояния до 2025 года // Вопросы промысловой океанологии, 2010, Вып. 7, № 2, с. 48-57.
19. *Шнитников А.В.* Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л. Наука, 1969. - 244 с.
20. *Anderson N.O.* On the calculation of the filter coefficients for maximum entropy spectral analysis//Geophysics, 1974. – Vol. 39, № 1. – P. 69-72.
21. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007/Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller(eds.) – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. Режим доступа: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/
22. ICES COOPERATIVE RESEARCH REPORT, 2011, № 310. Pp. 262

В.А. Белязо, А.А. Дмитриев

ЦИКЛИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ ЮЖНОГО ОКЕАНА И ФАКТОРЫ ИХ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

V. A. Belyazo A.A. Dmitriev

THE CYCLICAL FLUCTUATIONS OF THE SOUTHERN OCEAN SEA ICE EXTENT AND FACTORS, WHICH DETERMINE THEM.

В работе рассматривается изменчивость ледового режима различных районов Южного океана, обусловленная миграцией центров действия атмосферы под влиянием гравитационной ритмики планет Солнечной системы.

Ключевые слова: ледовитость, центры действия атмосферы, ритмика планет.

The variability of ice regime of various regions of the Southern Oceandetermined by migration of the centers of the atmosphere action under theinfluence of gravitational rhythmics of the planets of the solar systemis considered in the work.

Key words: sea ice extent, centers of atmosphere action, rhythmics of the planets

В последние годы, с увеличением рядов гидрометеорологических наблюдений в Антарктическом регионе, появляется все больше работ, посвященных анализу изменчивости ледовитости морей Южного океана.

Изучение трендов ледовитости Южного океана свидетельствует о том, что в сезон наибольшего распространения ледяного покрова не наблюдается уменьшения площади распространения льдов. Скорее наоборот, есть небольшая тенденция к увеличению их площади. В летний период в тихоокеанском секторе и в целом по Южному океану скорее наблюдается тенденция к уменьшению площади льдов. Отступление кромки льда в районе морей Беллинсгаузена и Амундсена компенсировалось распространением кромки льда к северу в море Уэдделла и в западном секторе моря Росса [6].

В работе [5] было показано, что связь межгодовой изменчивости ледовитости в отдельных районах и сезонах Южного океана неоднозначна. Так, наиболее отчетливо ледовитость всего океана соответствует ледовитости морей Содружества и Росса, а наиболее слабо она проявляется с ледовыми условиями района, прилегающего к Земле Уилкса. В ходе изменчивости ледовитости выявляются периоды 3-4 года, 6-7 лет и около 10-12 лет.

Нами [1-31] было установлено, что как длительные тренды, так и короткопериодические колебания гидрометеорологических характеристик Южного полушария обусловлены миграцией основных центров действия атмосферы под влиянием внешних факторов, в частности, гравитационным влиянием планет Солнечной системы.

Произведя анализ характера связи природных процессов с относительно короткими циклами Юпитера, нами было рассмотрено влияние и более длительных циклов. Так, по данным, рассчитанным по долготным интервалам планеты Уран (период обращения 84 года), индекс Южного колебания имеет также два максимума,

приходящиеся на годы нахождения планеты в точках весеннего и осеннего равноденствия ($\lambda = 0°$ и 180°) и два периода пониженных значений индекса в периоды, близкие к долготам летнего и зимнего солнцестояния. Продолжительность этих периодов равна длине полуцикла орбиты 42 года [4].

При низких значениях Южного колебания, когда в Тихом океане развивается Эль-Ниньо, в полярных регионах, как правило, наблюдается повышенный фон атмосферного давления, отрицательный индекс зональности и пониженная ледовитость. При высоких же значениях Южного колебания, когда в Тихом океане наблюдаются процессы Ла-Нинья, в полярных регионах преобладает пониженный фон давления, положительный индекс зональности и повышенная ледовитость.

Продолжив исследование изменчивости погодного режима циркумполярной зоны Южного полушария, удалось сосредоточить внимание на рассмотрении колебаний температурного и ледового режима, обусловленного более короткопериодными планетными циклами, в частности 12-летним циклом обращения Юпитера, а также циклом парных соединений Уран – Юпитер (14 лет).

Для этой цели были использованы данные по температурному режиму по российским антарктическим станциям и данные по ледовитости за период 1978 – 2009 гг. Национального центра данных по снегу и льду США (http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/amsr/amsre.html).

Группы лет, приходящиеся на последовательные интервалы долгот Юпитера в 12-летнем цикле, представлены в табл. 1.

Первоначально были рассмотрены средние годовые значения ледовитости в целом по всей Антарктике в сопоставлении с индексом Южного колебания. Из рис. 1, на котором помещены эти данные, очевидно, что в 12-летнем цикле обращения выявляется двойная волна максимумов и минимумов ледовитости (по 6 лет), причем минимумы близки к годам прохождения планетой долгот весеннего (0°) и осеннего (150 - 180°) равноденствия. В эти годы отмечаются максимальные значения индекса SOI, характеризующиеся как явлением Ла-Нинья, так и повышенным фоном давления в южной части Тихого океана.

Таблица 1

Группы лет по однородным долготам орбиты Юпитера (в градусах).

Гелиодолготы Юпитера											
0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022

Как ранее было показано [2], в эти годы южно-тихоокеанский циклон смещается в более высокие широты, что обусловливает в прибрежных районах более высокий фон температуры и уменьшение ледовитости.

Максимальные же значения общей ледовитости отмечаются в годы нахождения планеты выше (30-60°) или ниже плоскости небесного экватора (210-240°).

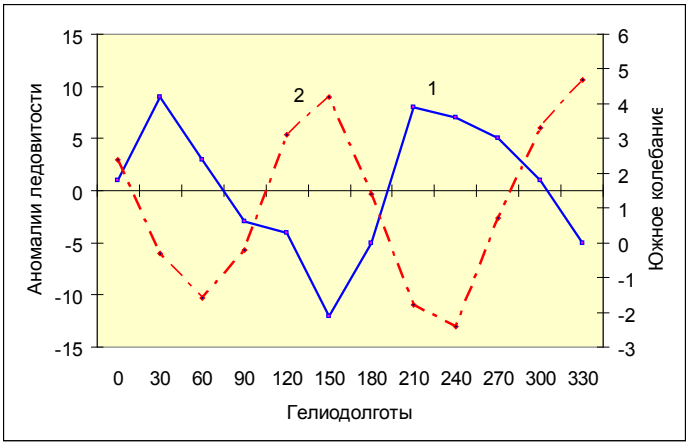


Рис. 1. Средние аномалии годовых значений ледовитости морей Антарктиды (*1*) и индекса Южного колебания (*2*) по годам долгот Юпитера.

Таким образом, общая среднегодовая ледовитость Южного океана имеет обратный характер связи с индексом Южного колебания и, как было показано в работе [2], с отклонением координаты Хп полюса Земли.

Однако здесь следует заметить, что такой характер связи ледовитости с Южным колебанием отмечается не для всех морских акваторий Южного океана. Наиболее ярко и для всех сезонов такой характер связи отмечается для района моря Росса (рис. 2), где видно, что в годы малой ледовитости давление в южно-тихоокеанском центре (ЮТЦ) растет (февраль).

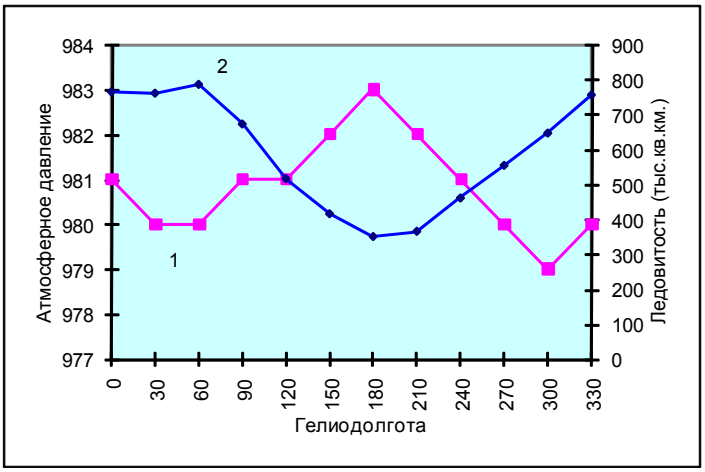


Рис. 2. Средняя величина атмосферного давления южно-тихоокеанского циклона (*1*) и ледовитость моря Росса в феврале для группы лет по интервалам долгот Юпитера (*2*).

В отличие от общей ледовитости Южного океана для района моря Росса (февраль) отмечается 12-летняя волна максимальных значений ледовитости в годы прохождения Юпитером долгот, близких к периодам весеннего равноденствия (0°), а минимальных значений – к долготам (180-210°).

В летний период (декабрь – февраль) индекс Южного колебания также выявляет 12-летнюю волну (сглаженные значения) с максимумами (рис. 3) в годы пересечения орбитой Юпитера плоскости небесного экватора на долготах, близких к весеннему равноденствию (0°), а минимальные значения SOI отмечаются в годы, близкие к прохождению долгот осеннего равноденствия (180-210°).

Давление в центре южно-тихоокеанского циклона растет по мере смещения его в сторону экватора и понижается при его смещении в более высокие широты. Индекс Южного колебания имеет большие значения при смещении ЮТЦ к полюсу по широте и наоборот.

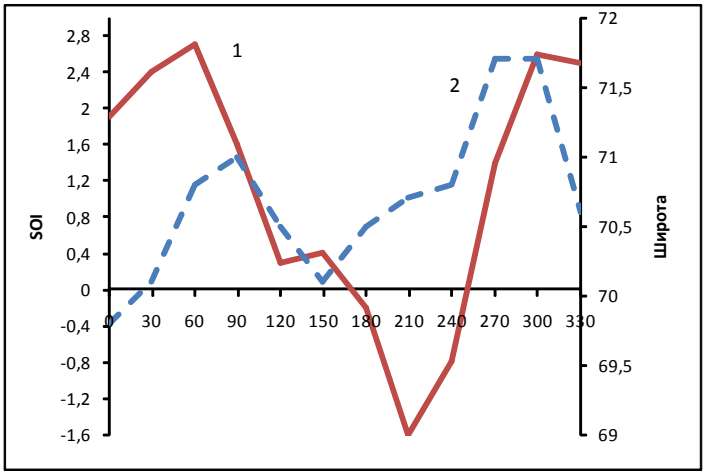


Рис. 3. Изменение индекса SOI (*1*) и широты южно-тихоокеанского минимум (*2*) по группам лет однородных интервалов долгот Юпитера.

Таким образом, в море Росса в 12-летнем цикле ледовитость летом (декабрь – февраль) больше в период роста значений индекса SOI (Ла-Нинья) и меньше в период низких значений SOI (Эль-Ниньо).

В то же время с ростом давления в центре южно-атлантического циклона (ЮАЦ) в годы прохождения планетой долготы осеннего равноденствия (180°) ледовитость в море Беллинсгаузена увеличивается (рис. 4).

Такое различие объясняется тем, что в эти годы активизируется атмосферная циркуляция Mb формы. При ней блокирующий гребень в южной части Тихого океана обусловливает вынос теплых масс в прибрежные районы моря Росса, а в море Беллинсгаузена в тыловой части гребня происходит заток более холодного воздуха с континента.

Температура воздуха в этом районе в феврале этих лет ниже нормы, что обусловливает также в эти годы ранние сроки образования ледяного покрова, большую продолжительность ледового периода, большие толщины льда.

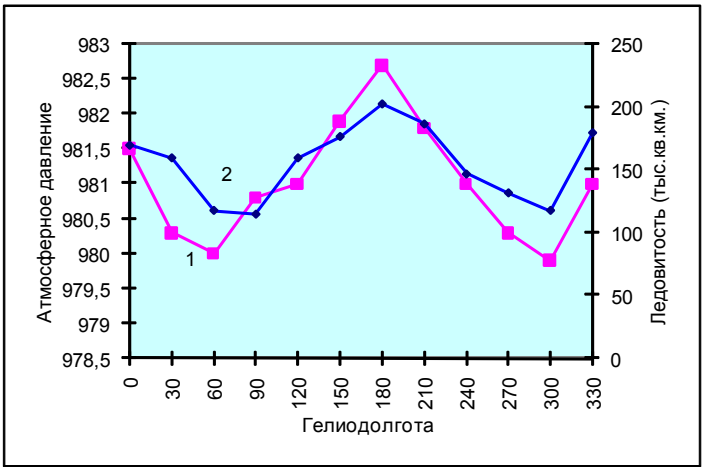


Рис. 4. Средняя величина атмосферного давления ЮАЦ и ледовитость моря Беллинсгаузена в феврале для группы лет по интервалам долгот Юпитера.

В качестве подтверждения высказанных соображений нами специально были исследованы ледовые условия в бухте Ардли в Антарктиде (у станции Беллинсгаузен) за период с 1968 по 2009 г. и аномалий температуры воздуха на близлежащей антарктической станции Фарадей. Все эти материалы были взяты из составляемых РАЭ ААНИИ ежегодников.

Характер изменчивости этих данных с одновременным сопоставлением с атмосферными характеристиками были рассмотрены по 12-летнему циклу Юпитера.

Из рис. 5 следует, что раннее замерзание бухты Ардли и соответственно продолжительность ледового периода (апрель – сентябрь), как отмечалось ранее, происходит в годы преобладания зональных форм циркуляции по 12-летнему периоду Юпитера.

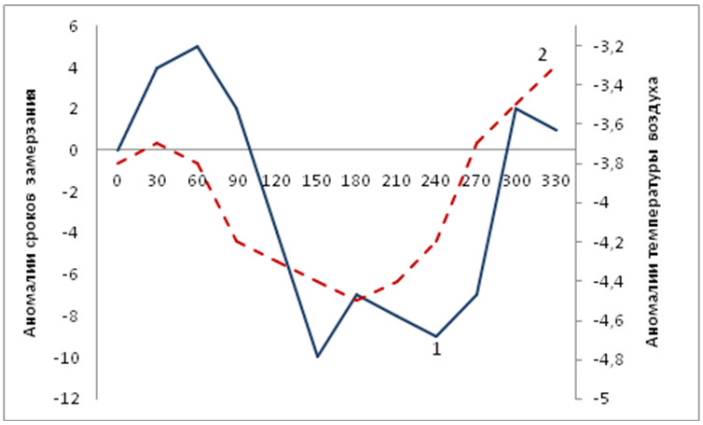


Рис. 5. Сглаженные (по трехлетиям) аномалии сроков образования ледяного покрова в бухте Ардли (*1*) и аномалии температуры воздуха на станции Фарадей (*2*) для лет, приходящихся на последовательность гелиодолгот Юпитера

Эти годы приходятся на моменты прохождения планетой гелиодолгот 150-240°.

Кроме того, изменения сроков замерзания бухты Ардли хорошо согласуются с ходом аномалий температуры воздуха с ближайшей станцией Фарадей. Это дополнительно подтверждает, что преобладание зональной циркуляции формирует более холодный температурный фон в данном регионе Южной Атлантики.

К сожалению, ограниченность рядов наблюдений ледовитости по Южному океану не позволяет получить достоверные данные по циклам парных соединений, которые, как было показано в работе [3], выявляют определенную временную характеристику экстремальных аномалий циркуляции и ледовитости в годы соединения и противостояний, а также углового момента (+/ - 90°).

Однако нами по данным табл. 2 были подсчитаны средние значения ледовитости моря Беллинсгаузена и моря Росса, а также индекса SOI по 14-летнему периоду соединений Урана и Юпитера.

Таблица 2

Группы лет, приходящиеся на последовательные разности долгот Уран – Юпитер (в градусах)

Разности долгот													
0	25	50	75	100	125	150	-175	-150	-125	-100	-75	-50	-25
1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010

Полученные характеристики (рис. 6) указывают, что минимальные значения ледовитости моря Беллинсгаузена, так же как и средние значения индекса SOI, приходятся на годы соединения и противостояния (0 и 180°), а максимальные их значения приходятся на годы их углового момента (+/ - 90°). В эти годы отмечаются также положительные значения координаты Хп вращения мгновенного полюса Земли.

Таким образом, внутри этого цикла выявляется двойная волна колебаний с периодом 6-7 лет, связанная с определенными взаимными положениями планет.

Аналогичные значения ледовитости по 14-летнему циклу были просчитаны по данным ледовитости моря Росса (февраль), что позволило составить опытный прогноз с учетом двух составляющих по 12- и 14-летним циклам на ближайшие два десятилетия без учета трендовой составляющей (рис. 6).

Очевидно, что основные пики колебаний ледовитости фактических и прогностических значений (с 1985 по 2010 г. на зависимом материале) достаточно хорошо совпадают. Эти обнадеживающие результаты позволили использовать установленную связь для составления прогноза до 2020 г. Как видно из рис. 7, до 2013 г. должно наблюдаться увеличение ледовитости в море Росса, а в последующие годы (до 2020 г.) – постепенное уменьшение.

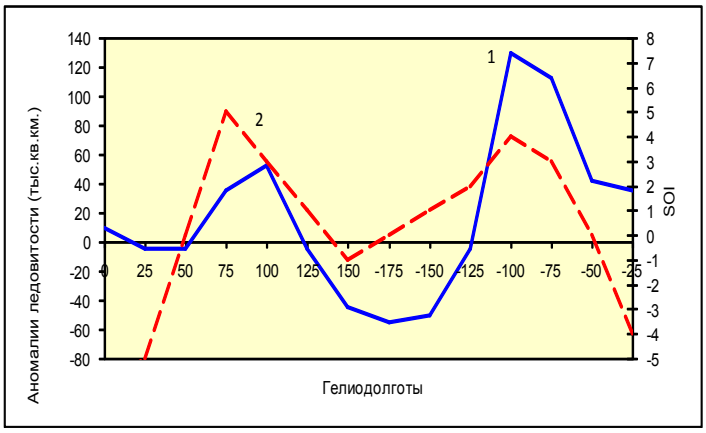


Рис. 6. Средние аномалии ледовитости (*1*) моря Беллинсгаузена (февраль) и аномалии индекса Южного колебания SOI (*2*) по годам разности долгот Уран-Юпитер.

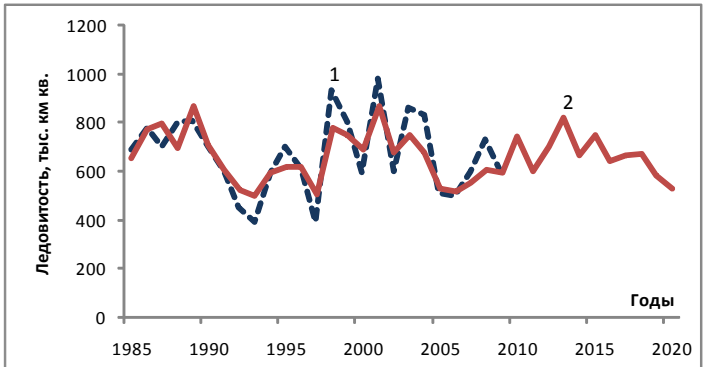


Рис. 7. Оценка прогноза ледовитости моря Росса (февраль) на зависимом (*1*) и независимом (*2*) материалах за период 1985 – 2020 г.

Исходя из выявленных особенностей связи ледовитости различных районов Южного океана с индексом Южного колебания SOI, можно уточнить ранее представленный [3] фоновый прогноз с учетом векового цикла Урана (84 года), который указывал на постепенное уменьшение значений индекса SOI до конца 40-х годов текущего столетия и сохранение в море Росса некоторого повышенного фона ледовитости с последующим ослаблением во второй половине столетия.

В районе моря Беллинсгаузена (февраль) характер изменения ледовитости будет иметь обратный характер: до 40-х годов сохранится пониженный фон ледовитости с последующим ее увеличением.

В итоге можно отметить, что проведенное исследование выявило причины изменчивости атмосферной циркуляции, обусловленной миграцией ЦДА под воздействием внешних факторов, что позволило объяснить характер временной изменчивости ледовитости различных районов Южного океана.

Выявленные зависимости позволили представить сценарий как длительных тенденций изменчивости процессов, так и прогностические результаты по регионам на ближайшие годы.

Пополнение гидрометеорологических рядов в дальнейшем позволит выявить большее число прогностических связей, что будет способствовать уточнению прогностических рекомендаций.

Литература

1. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2006. - 358 с.
2. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Многолетняя изменчивость атмосферных процессов Тихого океана и прилегающих к нему регионов Арктики и Антарктики и факторы ее определяющие. // Труды ААНИИ, 2009, т. 450, с. 222 – 240
3. *Дмитриев А.А., Белязо В.А., Гудошников Ю.П.* Ритмические колебания земных природных процессов и их гравитационная обусловленность. - СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2011. – 231 с.
4. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Ритмика атмосферной циркуляции приполярных районов Атлантического океана и их космико-геофизическая обусловленность // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 19, с. 86 – 100.
5. *Косенко А.В., Смирнов Н.П.* Многолетняя динамика ледового покрова морей южной полярной области и ее связь с атмосферной циркуляцией // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 7, с. 81 – 91.
6. *Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В.* Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2004. — 217 с.

В.А. Царев

ВЛИЯНИЕ ШТОРМОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА РЕЛЬЕФ МЕЛКОВОДНОЙ ОБЛАСТИ КУРОРТНОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

V.A. Tsarev

THE INFLUENCE OF STORM WAVES ON THE RELIEF OF THE RESORT DISTRICT OF ST. PETERSBURG

Представлена модель литодинамических процессов в прибрежной зоне моря, обусловленных влиянием штормового волнения. Обсуждаются полученные с помощью модели результаты исследования влияния штормового волнения на процессы формирования особенностей рельефа дна в прибрежной зоне Курортного района СПб.

Ключевые слова: модель, литодинамические процессы, прибрежная область моря, влекомые наносы.

The model of lithodynamic processes due to the influence of storm waves in the coastal area is presented. It is discussed the obtained results of the with a model study of the effect of storm waves on the formation of the bottom topography in the coastal zone Resort District of Saint Petersburg.

Key words: model, lithodynamic processes, coastal sea, sediment transport

Проведенное в последнее время сотрудниками ВСЕГЕИ детальное исследование рельефа дна и состава грунта в прибрежной зоне Курортного района СПб позволило выделить многие важные особенности, включая наличие терассы, присутствие песчаных валов, пересечение терассы узкими желобами и т.д. Обнаружены тенденции изменения некоторых особенностей рельефа дна. В частности, установлено, что происходит уменьшение ширины подводной площадки терассы в окрестности Зеленогорска [5,6]. В то же время отсутствует целостное представление о механизме формирования выделенных особенностей рельефа дна для указанного региона. Это делает актуальным разработку модели литодинамичеких процессов в данном регионе, что поможет в изучении механизма формирования подводного рельефа дна данного региона. В качестве первого шага предлагается модель формирования морского дна в указанном регионе под влиянием волновых потоков влекомых наносов.

Используемая модель включает систему уравнений, описывающих: а) волновое поле, образующееся в результате распространения через морскую границу ветрового волнения, соответствующего штормовому ветру заданной обеспеченности, б) волновые и гравитационные потоки влекомых наносов и в) изменение рельефа морского дна, связанное с дивергенцией и конвергенцией влекомых наносов.

Для расчета трансформации в расчетной области приходящего через жидкую границу ветрового волнения используется система уравнений, в которой учитывает-

ся возможность того, что на некоторых участах области волны могут не соответствовать условиям длинных волн. В данном случае исходная система уравнений имеет следующий вид:

$$\frac{\partial u_0}{\partial t} = -g\frac{\partial \xi}{\partial x} - ru_0, \tag{1}$$

$$\frac{\partial v_0}{\partial t} = -g\frac{\partial \xi}{\partial y} - rv_0, \tag{2}$$

$$\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} = -\frac{k}{th(kH)}\frac{\partial \xi}{\partial t} + w_0\left(1 + \sin(\sigma t)\right), \tag{3}$$

где u_0, v_0 – волновые скорости волновых течений у поверхности моря; ξ – волновое возмущение уровня свободной поверхности; x, y – пространственные координаты; t – время; r – коэффициент придонного трения; g - ускорение свободного падения; k – волновое число; σ – угловая частота; w_0 – амплитуда фиктивного источника, используемого для задания поступления в область волн.

Скорости волновых течений у дна находятся из соотношения:

$$u_H = u_0 \frac{1}{\mathrm{ch}(kH)}. \tag{4}$$

На жидких границах используется условие свободного излучения. На твердой границе - условие непротекания. Распространение волнения через верхнюю границу формируется путем задания вблизи границы источника переменной интенсивности (w_0), входящих в уравнение (3). Для учета процессов разрушения волн вблизи береговой черты в полосе шириной 25 м задавалось повышенное значение коэффициента придонного трения. Использование данного условия приводило к уменьшению амплитуды отраженных от берега волн. Это обеспечивало сохранение прогрессивного характера поступающего волнения. В противном случае при сложении прямого и отраженного волнений формировались стоячие волны. Интенсивность источников у границы подбиралась таким образом, что амплитуда поступающего волнения соответствовала амплитуде ветрового волнения заданной обеспеченности. Волновое возмущение находилось выше уровня невозмущенной морской поверхности. Известно, что ветровое волнение не является симметричным относительно невозмущенной поверхности. Гребни волн обычно находятся на большем расстоянии от невозмущенной поверхности, чем от их подошвы, что проявляется в формировании волнового нагона. Максимальные скорости волновых течений использовались при расчетах потоков влекомых наносов.

Рельеф морского дна формируется под влиянием дивергенции потоков влекомых наносов, включающих две составляющие. Первая составляющая потоков обусловлена касательным напряжением трения, формирующимся придонными скоростями волновых течений. Вторая – гравитационная составляющая, формируется под влиянием наклона поверхности морского дна. Волновая составляющая находится из соотношения Шильдса [2-4]

$$q_w = 4\pi\psi_{\max}^3 W_D, \tag{5}$$

где q_w – волновой поток влекомых наносов; W_D –гидравлическая крупность частиц грунта; $\psi_{\max}$ - максимальное значение параметра Шильдса, определяемое через максимальную величину донного волнового касательного напряжения ($\tau_Н$)

$$\psi_{\max} = \frac{\tau_Н}{\varphi g D \rho^*}, \tag{6}$$

где ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; ρ_s – плотность частиц грунта; $\rho^* = \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)$.

Составляющие $\tau_Н$ рассчитываются по формуле

$$\tau_{Нx} = c\rho|U|u, \tag{7}$$

где $|U|$ – модуль скорости волнового течения; u,v – составляющие скорости волновых течений.

Рассчитанные волновые скорости сопоставляются с предельной скоростью u_c, превышение которой является необходимым условием начала движения грунта.

$$u_c = K_u \rho^* g \frac{D}{W}, \tag{8}$$

где K_u – коэффициент, учитывающий шероховатость наносов; D – диаметр частиц донного грунта; W – их гидравлическая крупность; ρ_s, ρ – плотность грунта и воды соответственно.

Гравитационный поток влекомых наносов рассчитывается с помощью следующего соотношения

$$q_g = -c_d \nabla H_d, \tag{9}$$

где ∇H_d – наклон динамического профиля морского дна; c_d – константа

При определении констатнты с используется допущение, что на стадии формирования динамического волнового профиля достигается равенство для волновых (направленных к берегу) и гравитационных (направленных по наклону дна) потоков

$$q_g + q_w = 0, \tag{10}$$

где q_g, q_w – средние для динамического профиля гравитационный и волновой потоки влекомых наносов.

Подставляя (9) в (10), находим выражение для c_d

$$c_d = \frac{q_w}{\nabla H_d}. \tag{11}$$

При достижении динамического равновесия наклон рельефа дна соответствует наклону профиля динамического равновесия

$$\nabla H_d = tg\phi_{cr}, \tag{12}$$

где $tg\phi_{cr}$ – наклон профиля динамического равновесия.

Наклон профиля динамического равновесия морского дна может быть рассчитан по характеристикам волнения заданной обеспеченности с помощью эмпирического соотношения [1]

$$\mathrm{tg}\phi_{\mathrm{cr}} = \frac{\mathrm{tg}\phi_{\mathrm{e}}}{1 + \ell\mathrm{n}\left(\frac{1}{\gamma_{\mathrm{d}}} \cdot \frac{\mathrm{h}_{\mathrm{sur}}}{\overline{\mathrm{D}}} \cos^2\theta_{\mathrm{cr}}\right)}, \tag{13}$$

где θ_{cr} – угол между нормалью к берегу и направлением распространения волнения на изобате их первого обрушения; $tg\phi_e$ – крутизна естественного откоса дноообразующего грунта; D– средневзвешенный диаметр частиц грунта, h_{sur} – высота волнения на изобате первого обрушения, γ_d – крутизна исходной волны до подхода к зоне обрушения.

Расчет изменения рельефа морского дна под влиянием волновых потоков влекомых наносов выполняется с помощью уравнения

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(q_{wx} + c_d \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(q_{wy} + c_d \frac{\partial H}{\partial y}\right), \tag{14}$$

где q_{wx}, q_{wy} - составляющие волновых потоков влекомых наносов.

На суше величина q_w считается равной нулю. На морской границе области используется условие равенства нулю дивергенции потока влекомых наносов.

С помощью модели исследовались литодинамические процессы в прибрежной зоне Курортного района СПб, возникающие под влиянием штормового волнения различной обеспеченности, а также проведены расчеты обусловленного этими процессами возможного изменения рельефа дна. С учетом натурных данных при расчетах принималось, что придонный грунт, сложен из песка крупностью 0.5 мм. С помощью стандартных методик [4] были найдены характеристики ветровых волн для южного штормового ветра 0,14 % и 30 % обеспеченности. Для первого случая высота волн составила 2 м, для второго -0.5 м.

При моделировании прибрежная зона Курортного района СПб представлена сеточной областью размером 100x36 расчетных узлов. Из волновой части модели рассчитывались характеристики установившегося волнового поля и соответствующие ему составляющие скорости максимальных придонных волновых течений, по которым рассчитывались составляющие придонного касательного напряжения трения. Придонное трение использовалось для расчета потоков влекомых наносов и распределения толщины слоя накопления или эрозии донного грунта. При расчете гравитационных потоков грунта учитывалось фактическое распределение глубин, представленное на рис. 1, построенное нами по данным гидроакустической съемки, проведенной в 2005 г. ВСЕГЕИ [6].

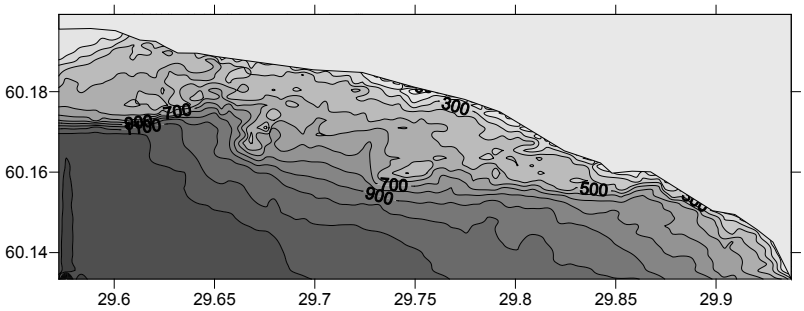


Рис. 1. Распределение глубин (см) в прибрежной зоне Курортного района СПб по результатам съемки

Из-за большого размера области размер ячейки сеточной области составил 210 м, что превышает длину ветровой волны с периодом 5 с. Чтобы сохранить возможность моделирования процесса формирования волнового поля в расчетной области, для волн задавался период 50 с. Это позволяло получить волны с длиной, превышающей шаг сеточной области.

При моделировании литодинамических процессов, обусловленных южным штормовым волнением, задавалось поступление через южную границу области волнения высотой амплитудой 2 м. По расчетам основные изменения рельефа дна, обусловленные влиянием южного штормового волнения, произошли на участках в окрестности внешней границы верхней платформы терассы, где отмечаются резкие изменения наклона дна, что показано на рис. 2.

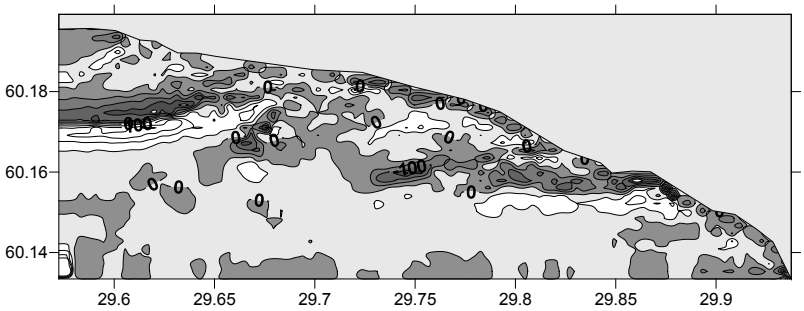


Рис. 2. Изменение глубины (см) морского дна после действия южного штормового волнения продолжительностью 10 суток

За счет этого формируется значительная неоднородность гравитационных потоков влекомых наносов. На склоне терассы за краем платформы величины гравитационных потоков оказалась существенно больше, чем на платформе ближе к берегу. В результате дивергенции потоков отмечается эрозия грунта и увеличение глубины у края верхней площадки терессы, что соответствует процессу ее размыва и уменьшения ширины. На склоне терассы в области уменьшения наклона дна формируется конвергенция потоков и накопление грунта. В непосредственной близости с береговой чертой переноса грунта не происходит. Это означает, что в мелководной части прибрежной зоны сформировавшийся наклон дна близко соответствует динамическому профилю.

В результате этого гравитационные потоки уравновешиваются волновыми потоками. Представленные результаты расчетов получены для условия непрерывного воздействия штормового волнения в течение 10 суток. Для волнения обеспеченностью 0,14 % это соответствует совокупному воздействию данного волнения за период порядка 70 лет.

При исследовании возможного влияния волнения 30 %-ной обеспеченности задавалось волнение высотой 0,5 м. При этом оказалось, что формирующееся при этом волновое волнение способно привести к переносу грунта лишь в области с глубинами менее 4 м. Такая область ограничивалась расположенным вблизи берега участком верхней платформы терассы. Соответственно потоки влекомых наносов на границе между площадкой терассы и склоном не образовывались. Такие потоки образовывались лишь вблизи кромки береговой черты. Величина таких потоков оказалась на порядок меньше, чем в предыдущем случае, и формирующиеся за счет них изменения рельефа дна оказались минимальны, что отмечается на рис. 3.

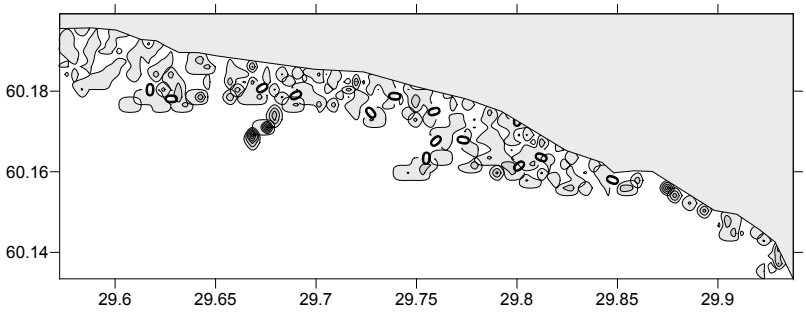


Рис. 3. Изменение глубины(см) морского дна после действия волнения южного направления 30% обеспеченности продолжительностью 10 суток

Следует отметить, что представленные результаты, соответствующие непрерывному действию волнения в течение 10 суток при 30 %-ной обеспеченности соответствуют примерно 30 суткам физического времени.

Литература

1. *Леонтьев И.О.* Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. - М.: Геос., 2001, -272 с.
2. *Мартьянов С.Д., Рябченко В.А., Рыбалко А.Е.* Моделирование процесса взмучивания донных осадков в Невской губе // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 20, с. 13-26.
3. *Леонтьев И.О.* Бюджет наносов и прогноз развития морского берега // Океанология, 2008, т. 48, № 3, с. 467-476.
4. *Глуховский Б.Х., Крылов Ю.М.* (ред.) Руководство по расчету параметров ветровых волн 1969. - Ленинград: Гидрометеорологическое издательство. – 136 с.
5. *Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Сухачева Л.Л., Жамойда В.А., Нестерова Е.Н.* Рельеф, геологическое строение и экзогенные геологические процессы береговой зоны Курортного района Санкт-Петербурга// Региональная геология и металлогения, 2008, № 36, с.109-120.
6. *Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Орвику К.К., Сухачева Л.Л., Нестерова Е.Н., Жамойда В.А.* Изменение береговой зоны восточной части Финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов// Региональная геология и металлогения, № 41, 2010, с.107-118

М.Е. Баранова, А.С.Гаврилов, К.Б.Чихачев

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВЫБРОСОВ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ГРАДИРЕН ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

M.E. Baranova, A.S. Gavrilov, K.B. Tchikhatchev

RESULTS OF NUMERICAL SIMULATION OF SALT POLLUTION EMISSIONS FROM EVAPORATIVE COOLING TOWER OF POWER OBJECTS

С использованием предложенной ранее численной модели моделирования водно-солевого факела от испарительных градирен проведены комплексные расчеты солевого загрязнения территории вокруг мощного энергетического объекта, использующего для охлаждения морскую воду. В качестве исходных данных привлекались прогнозные значения по выбросу в атмосферу водяного пара и соли от градирен сооружаемой в настоящее время Ленинградской АЭС-2 (г. Сосновый Бор).

Ключевые слова: ядерная энергетика, численное моделирование атмосферы, башенные испарительные градирни.

Using the previously proposed numerical model simulation of water-salt plume from evaporative cooling towers carried out complex calculations salt contamination around the powerful energy of the object that uses sea water for cooling. The initial data are brought forward values for emission into the atmosphere of water vapor, and salts of the towers being built at the present time, the Leningrad NPP-2 (Sosnovy Bor).

Key words: nuclear power energetics, numerical simulations of the atmosphere, evaporative cooling tower.

В серии предшествующих публикаций авторов настоящей работы [1-3] представлена и апробирована комбинированная гидротермодинамическая численная модель для расчета негативного воздействия градирен в прибрежной зоне на окружающую среду применительно к проектируемым объектам ядерной энергетики.

Как известно [2], единственным источником технической воды для градирен в этом случае является морская. Частичный унос водяных капель через верхний срез башен градирен приводит здесь к возникновению антропогенных источников нового типа, способствующих солевому загрязнению прибрежной зоны. Проблема состоит в том, что градирни – это крупные сооружения высотой до 150 – 170 м и диаметром 50 – 70 м, которые в значительной степени искажают обтекающий их поток воздуха

с образованием выраженных циркуляционных зон. При этом в атмосфере формируются так называемые «пароконденсатные» факела, состоящие как из капель соленой воды, так и конденсирующихся на естественном атмосферном аэрозоле капель пресной воды из выбрасываемого градирней водяного пара.

Предложенная модель построена таким образом, что на первом этапе по данным стандартной гидрометеорологической информации с использованием модели атмосферного пограничного слоя на территории в радиусе 30 км до высоты 2 км рассчитываются поля скорости ветра, температуры и влажности. Результаты этих расчетов используются далее в качестве исходных для гидротермодинамической 3D модели с воспроизведением особенностей обтекания каждой градирни и формируемого ими пароконденсатного факела. На третьем этапе рассчитываются с использованием метода Монте-Карло траектории движения капель соленой воды с учетом всех значимых эффектов их взаимодействия с окружающим пространством.

На начальном этапе использования модели основное внимание уделялось подбору параметров численной реализации и изучению свойств моделируемого пароконденсатного факела.

В данной работе эта комбинированная модель привлекается для расчета суммарного осаждения соли за год на каждый элемент подстилающей поверхности в прилегающей зоне влияния такого энергетического объекта, как сооружаемая в настоящее время в Ленинградской области АЭС – так называемая ЛАЭС-2 (г. Сосновый Бор).

Исходя из расчетов проектировщиков [3], суммарный общий выброс водяного пара из всех пяти градирен ЛАЭС-2 составляет 6820 т в час, вынос соленой воды за счет капельного уноса – 6,2 т в час, а с учетом солености охлаждающей технической воды градирен – около 7,5 ‰, выброс суммы растворенных в воде солей оказывается равным 12,9 г в секунду.

Задача состояла в том, чтобы путем сопоставления экстремальных значений солевого загрязнения с характерными величинами поступления соли за счет естественных осадков выяснить, является ли подобная величина выброса соли опасной для окружающей среды.

Общая схема информационных потоков при построении карт солевого загрязнения местности за счет воздействия градирен представлена на рис. 1. Прежде всего строилась цифровая модель подстилающей поверхности, задающая поле уровня шероховатости подстилающей поверхности. Далее осуществлялся расчет для каждого сезона 4-мерной эмпирической плотности вероятности амплитуды суточного хода температуры, значений относительной влажности, скорости и направления ветра – $P(A,F,U,R)$, влияющих, как это вытекает из [1], на перенос, рассеяние и трансформацию пароконденсатной смеси от градирен, для чего в качестве исходных данных привлекались ряды приземных наблюдений на ближайшей метеостанции г. Ломоносов за период 2001 – 2008 гг. Дополнительно для использования в качестве верхних граничных условий в модели расчета вертикальной структуры атмосферного пограничного слоя (АПС) привлекались накопленные архивы реанализа атмосферных процессов в узлах регулярной сетки $2{,}5^0 \times 2{,}5^0$ за этот же период.

Затем для центров каждой из этих градаций последовательно воспроизводились с привлечением гидротермодинамической модели (ГТДМ) обтекания градирен поля

скорости ветра, температуры, влажности и водности. Далее с использованием метода Монте-Карло производился расчет необходимого числа траекторий движения в пространстве капель соленой воды и в итоге рассчитывалось суммарное отложение соли на подстилающую поверхность.

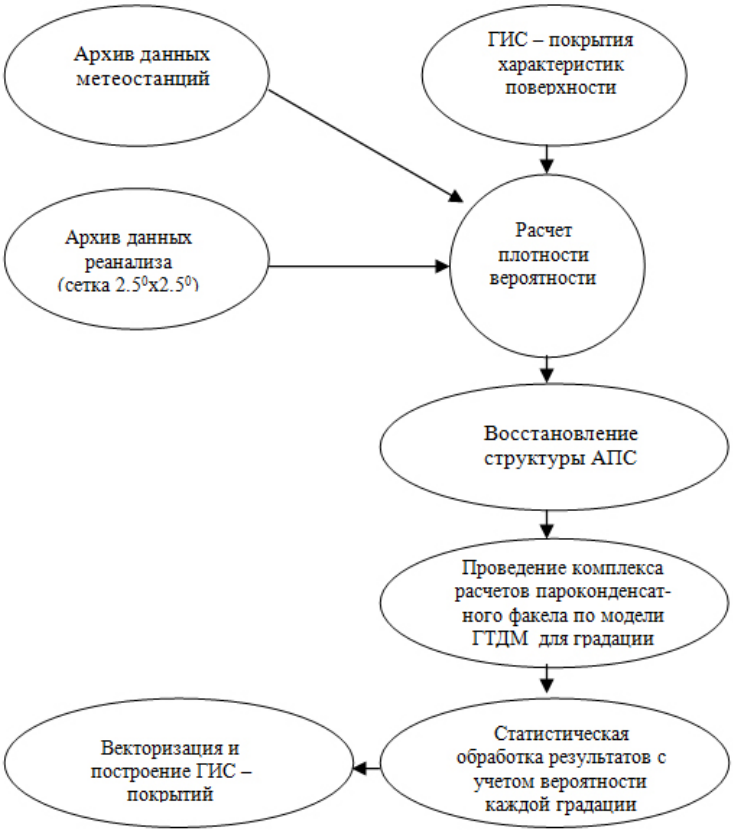


Рис. 1. Общая схема информационных потоков при расчете климатических карт солевого загрязнения.

После этого осуществлялся расчет среднегодовых значений интенсивности осаждения соли по формуле:

$$\overline{Y}(x,y)=\sum_{i=1}^{N_A}\sum_{j=1}^{N_U}\sum_{k=1}^{N_F}\sum_{m=1}^{N_R}Y(x,y\,|A_i,U_j,F_k,R_m)P_{ijkm},$$

где черта сверху – признак осредненного приземного поля осаждения соли, рассчитанного по модели при фиксированных параметрах A_i, U_j, F_k, R_m, причем суммирование производилась по всем градациям с весами P_{ijkm}, соответствующими значениям вероятностей каждой градации. На заключительном этапе полученное поле векторизовалось и сохранялось в обменных форматах ГИС (SHP – форматы).

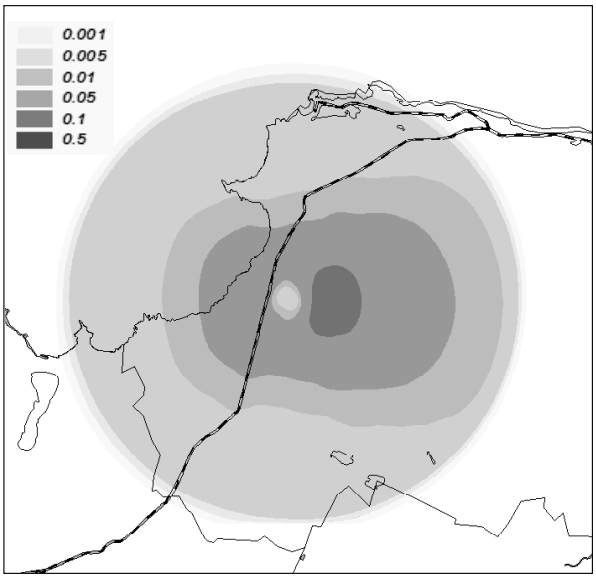


Рис. 2. Расчетное поле среднегодового осаждения соли за счет капельного уноса из всех градирен ЛАЭС-2 (г/м^2 в год).

Расчетное поле интенсивности осаждения соли, представленное на рис. 2, имеет достаточно выраженный максимум значений этой величины – около 0,7 г/м^2 за год на расстоянии около 3 км от площадки расположения ЛАЭС-2. Как показали специальные исследования для данного района, эта величина оказывается в 8 раз ниже поступления аналогичного состава солей за счет естественных осадков и существенно ниже диапазона их межгодовой изменчивости.

Статья подготовлена на основе материалов выполнения поисковой научно-исследовательской работы «Создание численных моделей для решения задач мониторинга и прогнозирования антропогенного загрязнения атмосферы и гидросферы в окрестности действующих и проектируемых объектов ядерной энергетики» в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. по направлению «Мониторинг и прогнозирование состояния атмосферы и гидросферы» в рамках мероприятия 1.3.1 Программы (конкурс НК-684П).

Литература

1. *Баранова М.Е., Гаврилов А.С., Чихачев К.Б.* Численное моделирование воздействия башенных испарительных градирен на окружающую среду, – Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2011, №17, с. 8-17.
2. *Баранова М.Е., Гаврилов А. С., Чихачев К.Б.* Численная модель расчета солевого загрязнения прибрежной зоны от градирен на морской воде // Материалы XXIII Междунар. береговой конф. в честь столетия со дня рождения профессора В.П. Зенковича «Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности». – СПб., изд. РГГМУ, 2010, с. 173-174.
3. *Баранова М.Е., Гаврилов А.С., Скакальский Б.Г., Пресман М.Р.* Влияние башенных испарительных градирен ЛАЭС-2 на окружающую среду // Материалы научно-практической конф. «Научные исследования и инновационная деятельность». – СПб.; Изд-во Политехнического ун-та, 2009, с. 11-22.

Ю.И. Скорик, Л.С. Венцюлис, А.А. Лебедева

ОЦЕНКА РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ОТХОДОВ

Y. Skorik, L. Ventsyulis, A. Lebedeva

RISK ASSESMENT OF ENVIRONMENTAL WASTE POLLUTION

Рассмотрены особенности практического определения риска от отходов производства и потребления, образующихся и размещаемых на территории Ленинградской области. Уровень риска от отходов для какой-либо территории Северо-Запада России оказывается пропорционален количеству отходов, с учётом отнесения их к соответствующим классам опасности, и зависит от геолого-географических условий региона. Предложен вариант оценки риска загрязнения от отходов территории Ленинградской области. Определены зоны в Ленинградской области с наиболее высоким уровнем риска, возникающего от отходов производства и потребления.

Ключевые слова: экологический риск, экологическая безопасность, отходы производства и потребления.

Peculiarities of assessing risk from wastes generated and landfilled on the territory of the Leningradskaya oblast. The environmental risk level from wastes in territory of the North-West of Russia depends on the amount of wastes, their classes of danger, geological and geographical conditions of the region. Environmental risk assessment from wastes in the territory of the Leningradskaya oblast has been suggested. Areas in the Leningradskaya oblast of the highest environmental risk level have been determined.

Key words: environmental risk, environmental safety, wastes.

Введение

В данной работе кратко рассмотрены особенности практического определения риска от отходов производства и потребления, образующихся и размещаемых на территории Северо-Запада Российской Федерации, в частности, в Ленинградской области. Данная область стала предметом исследования по ряду причин, первой из которых явилось то обстоятельство, что Ленинградская область представляет собой один из динамично развивающихся регионов России. Ещё одна её особенность состоит в том, что этот регион принимает и размещает на своей территории не только свои областные отходы, но также и основную часть коммунальных и производственных отходов пятимиллионного Санкт-Петербурга. Эта особенность делает её в какой-то мере подобной Московской области, нагрузка на которую от размещаемых там отходов, образующихся и в Московской области, и в городе Москве, превосходит разумные размеры.

Однако в этой публикации мы не будем рассматривать воздействие отходов Санкт-Петербурга на экологическую безопасность Ленинградской области, тем более, что эта проблема уже не раз обсуждалась (см. например, [2]). Здесь мы намерены обсудить лишь один аспект проблемы, а именно: от каких обстоятельств зависит уро-

вень риска, исходящий от отходов, и как при оценке такого риска возможно учитывать конкретные особенности, характерные для той или иной территории.

Определение риска загрязнения окружающей среды от отходов

Уровень экологического риска для какой-либо территории (т.е. уровень возможного снижения экологической безопасности на этой территории), возникающий от одного или нескольких опасных антропогенных объектов, принято определять по приведённому ниже уравнению (1) как сумму произведений трёх компонент, взятых по каждому из учитываемых опасных объектов [1,3,8,9]:

$$R = \sum_n \left(R_1 \cdot R_2 \cdot R_3\right), \qquad (1)$$

где R – уровень экологического риска, т.е. вероятность нанесения опасным объектом (или объектами) определённого ущерба населению и окружающей среде на данной территории; R_1 – вероятность возникновения события или явления, обусловливающего формирование и воздействие вредных факторов (например, образование загрязнённых стоков от размещённых отходов и проникновение их в подземные водные горизонты); R_2 – вероятность образования определённых условий или нагрузок (например, полей повышенных концентраций вредных веществ в различных средах, в том числе в атмосферном воздухе, в природных водах, в почвах), негативно воздействующих на население, на объекты биосферы, а также на неживую природу; R_3 – вероятность того, что указанные повышенные уровни нагрузок приведут к определённому ущербу для здоровья населения и для состояния объектов окружающей среды; n – количество учитываемых объектов (в случае отходов – это полигоны, свалки и другие объекты переработки или размещения отходов).

С учётом характера технологических процессов, осуществляемых с отходами производства и потребления на какой-либо территории, компоненты, необходимые для определения уровня риска R от осуществления этих процессов, могут быть выбраны следующим образом.

Вероятность загрязнения объектов природной среды отходами производства и потребления R_1 прямо пропорциональна массе отходов, относимых к классу опасности “*i*”, уже захороненных на данной территории за предыдущие 20 лет ($M_i^{\text{накоп.}}$), а также захораниваемых на ней в настоящее время за определённый промежуток времени, например, за 1 год ($M_i^{\text{обр.}}$). Таким образом, значение величины R_1 можно представить уравнением (2):

$$R_1 \sim \left(\sum_n M_i^{\text{обр.}} + \sum_n M_i^{\text{накоп.}}\right), \qquad (2),$$

где $M_i^{\text{обр.}}$ – общая масса отходов i-того класса опасности, не подвергшихся специальному обезвреживанию и размещённых на полигонах и свалках, расположенных на данной территории, за выбранную единицу времени, например за 1 год; $M_i^{\text{накоп.}}$ – общая масса отходов i-того класса опасности, не подвергшаяся обезвреживанию и уже размещённая за предыдущие 30 лет на полигонах и свалках,

расположенных на данной территории; i – класс опасности отхода по нормативам Российской Федерации; n – количество учитываемых объектов размещения отходов на данной территории.

Тридцатилетний срок был принят в качестве максимального, исходя из предположения (подтверждённого экспериментально, впрочем, только по отношению к твёрдым коммунальным отходам [5,10,11]) о том, что по прошествии 30 лет в климатических условиях Северо-Запада России захороненные твёрдые коммунальные отходы (ТКО) подвергнутся полному биохимическому разложению и практически перестанут выделять свалочный газ, содержащий метан и усиливающий за счёт этого парниковый эффект. По истечении этого срока прекратится также выделение жидкого фильтрата, содержащего в растворенном и взвешенном состоянии многие токсичные вещества. Таким образом, мы принимаем, что в данном случае захороненные отходы спустя 30 лет после захоронения уже не будут представлять опасности ни для объектов окружающей среды, ни для населения.

Впрочем, очевидно, что для отходов, содержащих так называемые «стойкие органические загрязнители», а также металлическую ртуть или соединения кадмия, такое допущение не приемлемо, так как указанные вещества будут сохранять в природных условиях свои токсичные свойства в течении многих десятилетий, а возможно – и столетий.

Чтобы учесть количества отходов различных классов опасности, размещаемых на полигонах и свалках, при расчёте необходимо использовать коэффициенты, учитывающие класс опасности отходов каждого вида. В ходе настоящей работы нами были использованы коэффициенты $k_i^{\text{о}}$, учитывающие класс опасности отхода, значения которых приведены в «Методике определения предотвращённого экологического ущерба» (Приложение 3), утверждённой Государственным Комитетом РФ по охране окружающей среды в 1999 г. [6]. Величины этих коэффициентов воспроизведены в таблице.

Таблица

Коэффициенты $k_i^{\text{о}}$, учитывающие класс опасности отхода [10]

Класс опасности отхода	Значение коэффициента $k_i^{\text{о}}$
Класс опасности IV	1
Класс опасности III	2
Класс опасности II	3
Класс опасности I	7
Нетоксичные отходы	0,2

При указанных выше условиях величина R_1 и, следовательно, величина R будут прямо пропорциональны величинам $k_i^{\text{о}}\ M_i^{\text{накоп.}}$ и $k_i^{\text{о}}\ M_i^{\text{обр.}}$, т.е. массе отходов класса опасности i, уже захороненных на данной территории за последние 30 лет, а также массе таких же отходов, захораниваемых на данной территории в настоящее время за определённый промежуток времени, например за 1 год.

Следовательно, уровень риска от отходов для какой-либо территории Северо-Запада России оказывается пропорционален количеству отходов, размещаемых на

этой территории в настоящее время и уже захороненных там ранее в течение последних 30 лет, с учётом отнесения их к соответствующим классам опасности.

Таким образом, для оценки уровня экологического риска от полигонов, свалок и иных объектов, куда поступают или где размещены коммунальные или производственные отходы, целесообразно пользоваться выражением (3):

$$R \sim \sum_n \left(k_i^o M_i^{\text{накоп.}} + k_i^o M_i^{\text{обр.}} \right). \quad (3)$$

При определении величин R_2 и R_3 помимо классов опасности, к которым отнесены захораниваемые отходы, и их количества следует учитывать также геологические и гидрогеологические характеристики тех земель, которые либо официально отведены для устройства полигонов и свалок, где размещаются отходы, либо заняты для этих целей без достаточных юридических оснований, иногда – с применением самозахвата, что, к сожалению, происходит в современной России нередко.

Учет геолого-географических особенностей территории Ленинградской области

Если речь идёт о территории Ленинградской области, то необходимо учитывать, что горные породы, подстилающие территорию Ижорского плато, которое находится в юго-западной части Ленинградской области, имеют карстовое (пористое) сложение и поэтому легко проницаемы не только для выпадающих атмосферных осадков и талых вод, но и для загрязнённых стоков, образующихся в массивах захороненных отходов, размещённых здесь на многочисленных свалках и стекающих оттуда «на рельеф». Очень большую опасность для подземных водных горизонтов представляют также стоки, изливающиеся из навозохранилищ, которые в изобилии расположены на землях Ижорского плато. Известно, что в Волосовском и Гатчинском районах области сосредоточено до 40 % поголовья крупного рогатого скота Ленинградской области [4,7]. Эту особенность данной части территории Юго-Западной зоны Ленинградской области следует учесть при определении риска от отходов, что можно сделать с помощью величины R_2.

Так как величина R_2 характеризует вероятность образования определённых условий, вызывающих негативные воздействия на население и на окружающую среду, в том числе и на объекты биосферы, с величиной R_2 связно ещё одно важное обстоятельство, о котором необходимо помнить. Речь идёт о том, что подавляющее большинство свалок, действующих в Ленинградской области, не прошло лицензирования, а поэтому соответствие их обустройства нормативным требованиям не подтверждено необходимыми документами и поэтому сомнительно. Лицензии на свою деятельность имеют лишь 13 объектов из более чем 340 свалок Ленинградской области.

В частности, вызывает сомнение соответствие морфологического состава принимаемых на свалки отходов требованиям действующих нормативных документов, реальное осуществление на таких свалках сбора и обезвреживания токсичных фильтратных выделений из массы захороненных отходов, соответствие противопожарной безопасности на объектах размещения отходов существующим требованиям и реальное отсутствие возгораний в местах размещения отходов. Нельзя забывать о том, что в случае возгорания захороненных на свалке отходов их горение протекает при не-

достатке кислорода, и поэтому в объекты окружающей среды, прежде всего в атмосферный воздух, попадает многократно больше ядовитых веществ, чем их выделяется из массы захороненных отходов, разлагающихся в ходе естественных биохимических процессов. Среди выделений из горящих свалок могут содержаться супертоксичные соединения диоксинового ряда, боевые отравляющие вещества, например фосген, и многие другие яды. Все эти и подобные им обстоятельства должны быть учтены при оценке риска от размещённых отходов с помощью сомножителя R_2 .

Таким образом, для сколько-нибудь точного определения уровня экологического риска от отходов, размещённых и размещаемых на какой-либо территории, необходимо знание многих количественных показателей, характеризующих работу конкретных объектов системы обращения с отходами – полигонов, свалок, хранилищ и пр.

Однако, к сожалению, в полном объёме подобными сведениями не располагает в Российской Федерации ни одно учреждение, относящееся к муниципальной, к областной или тем более к федеральной власти. Поэтому для определения уровня экологического риска от уже захороненных и захораниваемых в настоящее время отходов производства и потребления приходится использовать упрощённый вариант оценки, краткое описание которого применительно к объектам Ленинградской области приведено ниже.

Упрощённый вариант оценки риска загрязнения от отходов, размещённых на территории Ленинградской области

Если исходить из того, что состав отходов, поступающих на полигоны и свалки, меняется со временем мало (особенно в аспекте класса опасности компонентов, входящих в состав захораниваемых твёрдых коммунальных отходов), то с некоторой допустимой погрешностью *можно оценивать уровень риска от отходов,* захороненных и захораниваемых на свалках данной территории, *основываясь непосредственно на количестве уже захороненных там отходов, а также на количестве отходов, захораниваемых в настоящее время* в расчёте за год, т.е. полагать, что уровень риска R можно оценить с помощью уравнения (4):

$$R = \sum_n \left(R_1 R_2 R_3\right) = \sum_n \left(k_i^o M_i^{\text{обр.}} + k_i^o M_i^{\text{накоп.}}\right) R_2 R_3. \qquad (4)$$

При этом следует иметь в виду, что значение величин R_2 и R_3 , используемых в данной формуле, нормативно не установлено ни одним действующим документом, и поэтому значения этих величин пока приходиться выбирать произвольно.

Так, при выполнении настоящей работы для территории Ижорского плато значение вероятности образования повышенных концентраций загрязняющих веществ в подземных водах R_2 было выбрано наибольшим из возможных: $R_2 = 4$. При этом имелась в виду высокая уязвимость от загрязнения бытовыми и сельскохозяйственными отходами сосредоточенных под этим плато подземных водных горизонтов R_2, воду которых местное население практически использует в качестве питьевой.

Для остальных территорий юго-западной части Ленинградской области (территории Кингисеппского, Сланцевского, Лужского, Ломоносовского, исключая Ижорское плато), с учётом активного сельскохозяйственного и рекреационного ис-

пользования этой зоны, было использовано также повышенное значение величины R_2 , которое вдвое превышает минимальное значение, а именно: $R_2 = 2$.

Для густо заселённых территорий Карельского перешейка, которые широко используются также и в рекреационных целях, было также принято повышенное значение этого сомножителя: $R_2 = 2$.

Для территории юго-восточной зоны Ленинградской области (Тосненский, Кировский, Волховский и Киришский районы), где земли менее ценны и в хозяйственном, и в рекреационном отношениях, чем земли Карельского перешейка и земли Юго-Запада, величина показателя R_2 была принята несколько меньшей ($R_2 = 1,5$).

Наконец, для Северо-Востока Ленинградской области, где многие земли заболочены и малопродуктивны, а количество размещаемых отходов, бытовых и производственных, невелико, величина вероятности образования высоких концентраций вредных веществ в различных объектах природной среды была выбрана минимальной – $R_2 = 1$.

Таким образом, при использовании приближённого метода определения риска для здоровья населения и состояния окружающей среды от количества и класса опасности размещаемых отходов суммарная кривая, представляющая динамику накопления коммунальных и промышленных отходов на той или иной территории, будет в то же время приближённо отражать динамику изменения риска для населения и биосферы, а также и иных природных объектов, проистекающего от размещаемых отходов. Очевидно то, что с ростом количества захораниваемых отходов и с повышением класса их опасности этот риск будет возрастать, если не будут оперативно приняты радикальные меры, которые приведут к снижению количества отходов, поступающих на полигоны и свалки, особенно количества тех отходов, которые отличаются высоким классом опасности (1-3 классы опасности).

Что касается величины R_3, которая характеризует вероятность того, что на рассматриваемой территории нежелательные уровни нагрузок на объекты природной среды и на население от размещённых там отходов приведут к определённому ущербу для них, то такой негативный сценарий наиболее вероятен для тех зон (например, для муниципальных районов или их групп), где уже накоплены значительные количества высоко опасных отходов. Это прежде всего относится к отходам 1-го и 2-го классов опасности. То же относится к территориям, где количества захороненных или хранящихся высоко опасных отходов продолжают систематически и существенно увеличиваться.

Так, если сравнивать между собой по этому признаку различные зоны Ленинградской области, то окажется, что наименее острой представляется ситуация, сложившаяся в Юго-Восточной её зоне, где образуется лишь 4,4 % общеобластного количества отходов 1-го класса опасности и 13,4 % отходов 2-го класса опасности.

Напротив, наиболее острым оказывается положение, создавшееся на территории Карельского перешейка, где образуется более 40 % от областного количества отходов 1-го класса опасности и 74 % - от областного количества отходов 2-го класса опасности. С учётом этих данных значения величины R_3 для различных зон Ленинградской области были определены такими:

– для Юго-Восточной зоны - $R_3 = 1,0$;
– для Северо-Восточной зоны - $R_3 = 1,2$;

– для Юго-Западной зоны - R_3 = 3,5;
– для Северо-Западной зоны - R_3 = 7,0.

Принимая во внимание то обстоятельство, что наиболее высокие значения как величины R_2 так и величины R_3, были определены для территорий Юго-Западной зоны и Северо-Западной зоны, можно оценить уровень риска, возникающего от отходов производства и потребления, наиболее высоким в Ленинградской области именно для этих двух зон, т.е для наиболее благоприятной в климатическом отношении и наиболее заселённой части территории Ленинградской области.

Заключение

Итоги проведённого исследования могут быть сформулированы следующим образом: исследование показало, что в аспекте защиты здоровья населения и охраны состояния окружающей среды от негативного воздействия отходов производства и потребления основное внимание многочисленных природоохранных органов различного иерархического уровня, курирующих экологическую безопасность в Ленинградской области, должно быть сконцентрировано преимущественно на территории Ижорского плато (Юго-Западная зона области) и на территории Карельского перешейка (Северо-Западная зона области), так как уровень риска от негативного воздействия отходов на человека и биосферу здесь существенно выше, чем на других участках территории Ленинградской области.

Литература

1. *Венцюлис Л.С., Донченко В.К., Скорик Ю.И.* Экологический ущерб от топливно-энергетического комплекса России и возможности его снижения. – СПб., 2012. – 174 с.
2. Единая политика обращения с отходами в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. / Под ред. *С.Г.Инге-Вечтомова, Ю.И.Скорика, Т.М.Флоринской*. – СПб., НЦ РАН, 2000. – 154 с.
3. *Измалков В.И., Измалков А.В.* Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. – М. – СПб., 1998. – 483 с.
4. *Карлин Л.Н., Ефимова Ю.В., Никифоров А.В.* Некоторые климатические характеристики Санкт-Петербурга в эпоху глобального потепления .// Уч. зап. РГГМУ, 2005, №1, с.22-30
5. *Мариненко Е.Е., Беляева Ю.Л., Комина Г.П.* Тенденции развития систем сбора и обработки дренажных вод и метаносодержащего газа на полигонах твердых бытовых отходов: отечественный и зарубежный опыт. – СПб.: Недра, 2001. – 160 с.
6. Методика определения предотвращённого экологического ущерба. Утверждена Госкомэкологии России 30.11.1999 г. – М., 1999.
7. О состоянии окружающей среды в Ленинградской области. Комитет по природным ресурсам Ленинградской области. – СПб., 2010. – 412 с.
8. *Скорик Ю.И.* Критерии экологической ситуации в промышленном городе. // Мат. Междунар. симпозиума «Экологическая экспертиза и критерии экологического нормирования». – СПб., 1996, с. 121-123.
9. *Скорик Ю.И.* Критерии экологического риска для промышленных предприятий // Мат. Междунар. симпозиума «Экологическая экспертиза и критерии экологического нормирования». – СПб., 1996, с. 123-125.
10. *Фёдоров П.М., Негуляева Е.Ю., Покровская Е.Р.* Исследование и моделирование биохимических процессов, происходящих в полигонах твёрдых бытовых отходов. // Сб. «Комплексная переработка ТБО – наиболее передовая технология». – СПб., 2001, с. 62-72
11. *Фёдоров П.М.* Мониторинг геоэкологической системы «Полигон твёрдых бытовых отходов» на примере Санкт-Петербурга. Дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук. – СПб., Политехн. ун-т., 2005.

А.В. Германова, Г.Т. Фрумин

ПОСТУПЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ СО СТОКОМ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК

A.V. Germanova, G.T. Frumin

INPUT OF NUTRIENTS TO THE BALTIC SEA FROM INTERNATIONAL RIVERS

Цель данного исследования заключалась в отыскании наиболее информативных дескрипторов для количественного описания связи между поступлением фосфора общего и азота общего в Балтийское море со стоком четырнадцати трансграничных рек (Q т) и характеристиками их водосборных бассейнов. Для достижения этой цели были использованы первичные данные, приведенные в работе S. Nilsson «International river basins in the Baltic Sea Region». Расчеты показали, что наиболее информативным дескриптором является количество населения на водосборном бассейне рек.

Ключевые слова: фосфор общий, азот общий, Балтийское море, водосборный бассейн.

The aim of this research is an attempt to find relationships between input of total phosphorus (TP) and total nitrogen (TN) to the Baltic Sea from 14 larger international rivers and some characteristics of the rivers basins (area of basin, total number of inhabitants, population density, the areas of forests, shrubs, cultivated areas, areas of water bodies and total river runoff to the sea in year 2000). Calculations have shown that the most informative characteristic is the population on a river basin.

Key words: total phosphorus, total nitrogen, Baltic Sea, river basin.

В марте 1974 г. представителями стран Балтики – ГДР, Дании, Польши, СССР, Финляндии, ФРГ и Швеции – была подписана конвенция по охране морской среды Балтийского моря (Хельсинкская конвенция), вступившая в силу в мае 1980 г. Эта конвенция, принятая в целях охраны морской среды Балтийского моря, стала первым международным соглашением, затрагивающим все источники загрязнения, расположенные на побережье (точечные и диффузные), в море (морские суда), а также атмосферу. Однако и сегодня, по прошествии более тридцати лет, основные экологические проблемы Балтики остаются весьма актуальными.

15 ноября 2007 г. в Кракове (Польша) министрами охраны окружающей среды стран Балтийского моря был согласован план действий для Балтийского моря (ПДБМ), который является долгосрочным стратегическим документом, направленным на сокращение загрязнения морской среды, достигшего в последнее время угрожающего размера, и восстановления благополучного экологического состояния Балтики к 2021 г. В ПДБМ включены четыре основных раздела («эвтрофирование», «вредные вещества», «биоразнообразие и охрана природы» и «морская деятельность»).

Основные экологические проблемы Балтийского моря в современный период обусловлены процессами эвтрофирования, химического загрязнения, аварийными

ситуациями, сопровождающимися разливами нефти и нефтепродуктов, химическими боеприпасами и биоразнообразием [1, 3-6].

Главная проблема в Балтийском море - эвтрофирование. Развитие процесса антропогенного эвтрофирования приводит ко многим неблагоприятным последствиям с точки зрения водопользования и водопотребления (развитие «цветения» и ухудшения качества воды, появление анаэробных зон, нарушение структуры биоценозов и исчезновение многих видов гидробионтов, в том числе ценных промысловых рыб). Кроме того, в период цветения сине-зеленые водоросли производят сильнейшие токсины (алкалоиды, низкомолекулярные пептиды и др.), которые сами не используют, но они, попадая в водную толщу, представляют опасность для живых организмов и человека. Эти токсины могут вызывать цирроз печени, дерматиты у людей, отравление и гибель животных.

Половина фосфорной нагрузки поступает в Балтийское море со стоком рек. Большая часть дополнительного к природному фосфору поступает в результате деятельности лесного и сельского хозяйства, в результате неправильного использования удобрений. Есть и другие, так называемые, точечные источники нагрузок – предприятия по переработке леса и, конечно, сбросы населенных пунктов, особенно крупных городов (канализационные стоки, ливневая канализация, моющие средства).

Чрезмерное поступление азота и фосфора от наземных источников является основной причиной эвтрофирования Балтийского моря. Приблизительно 75 % азота и, по крайней мере, 95 % фосфора попадают в Балтийское море через реки или через прямые сбросы. Около 25 % азота поступает из атмосферы.

Объемы фосфора, поступающие в настоящее время в Балтийское море, в восемь раз, а азота в четыре раза превышают объемы, которые поступали в начале XX века. Особенно эти объемы стали увеличиваться после второй мировой войны, достигнув своего пика в 1960-е и 1970-е годы. Рост нагрузки по азоту некоторых балтийских государств замедлился, а сбросы фосфора в течение последнего десятилетия даже сократились. Уменьшение фосфорной нагрузки замедлило эвтрофирование, но только в Ботническом заливе, где фосфор является важнейшим лимитирующим рост растений питательным элементом.

Цель данного исследования заключалась в отыскании наиболее информативных дескрипторов для количественного описания связи между поступлением фосфора общего (Q_P) и азота общего (Q_N) в Балтийское море со стоком четырнадцати трансграничных рек (табл. 1) и характеристиками их водосборных бассейнов. Для достижения этой цели были использованы первичные данные, приведенные в работе S.Nilsson «International river basins in the Baltic Sea Region». Все данные относятся к 2000 г.

Таблица 1

Распределение водосборных бассейнов рек по странам

Река	Доля водосборного бассейна, %
Нева	Россия 80 %, Финляндия 20 %
Висла	Польша 87 %, Украина 7 %, Белоруссия 5 %, Словакия 1 %
Одер	Польша 90 %, Чехия 65 %, Германия 4 %
Даугава	Белоруссия 38 %, Россия 32 %, Латвия 28 %, Литва 2 %

Река	Доля водосборного бассейна, %
Неман	Белоруссия 48 %, Литва 47 %, Польша 3 %, Россия 2 %
Нарва	Россия 63 %, Эстония 31 %, Латвия 6 %
Кемийоки	Финляндия 97 %, Россия 3 %
Гета-Эльв	Швеция 84 %, Норвегия 16 %
Турне-Эльв	Швеция 64 %, Финляндия 35 %, Норвегия 1 %
Индальсельвен	Швеция 92 %, Норвегия 8 %
Преголя	Польша 52 %, Россия 48 %
Гауя	Латвия 87 %, Эстония 13 %
Лиелупе	Латвия 50 %, Литва 50 %
Вента	Латвия 55 %, Литва 45 %

В качестве дескрипторов были рассмотрены количество населения на водосборе (x_1, человек), площадь водосборного бассейна (x_2, км^2), расход воды (x_3, м^3/год·10^6), плотность населения на водосборе (x_4, чел./км^2), площадь леса на водосборе (x_5, км^2), площадь пахотных угодий на водосборе (x_6, км^2) и площадь кустарников или травянистого покрова (x_7, км^2). Кроме того, в качестве дескриптора была использована площадь водных объектов на водосборных бассейнах рассмотренных рек (x_8, км^2). Первичные данные для анализов представлены в таблицах 2 и 3. Информативность моделей оценивали величиной коэффициента детерминации (r^2).

Таблица 2

Поступление фосфора общего в Балтийское море со стоком трансграничных рек и характеристики их водосборных бассейнов

Река	Q_P, т	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Нева	2 400	6 107 900	286 553	66 500	21,3	209 184	4 871	11 462
Висла	7 500	23 487 300	193 347	42 400	121,5	50 270	106 341	23 202
Одер	3 700	16 167 200	117 862	16 200	137,2	31 823	67 181	10 254
Даугава	1 400	2 783 200	86 052	20 700	32,3	44 747	17 210	7 917
Неман	1 800	4 890 900	92 318	20 000	53,0	27 695	45 236	7 108
Нарва	530	936 100	56 797	10 700	16,5	28 966	13 631	3 067
Кемийоки	460	108 100	51 036	23 300	2,1	39 808	102	8 166
Гета-Эльв	420	1 003 300	48 326	23 100	20,8	30 445	4 156	2 368
Турне-Эльв	490	79 700	39 705	17 800	2,0	23 029	199	13 103
Индальсельвен	240	109 200	25 518	19 100	4,3	18 118	255	4 083
Преголя	570	1 283 600	14 783	2 700	86,8	2 365	10 348	917
Гауя	95	155 300	8 652	2 100	17,9	4 239	2 596	1 038
Лиелупе	230	668 200	17 876	2 400	37,4	3 575	11 441	1 448
Вента	95	347 600	11 624	2 200	29,9	3 138	6 509	1 035

Таблица 3

Поступление азота общего в Балтийское море со стоком трансграничных рек и характеристики их водосборных бассейнов

Река	Q_N, т	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Нева	52 500	6 107 900	286 553	66 500	21,3	209 184	4 871	11 462
Висла	124 000	23 487 300	193 347	42 400	121,5	50 270	106 341	23 202
Одер	55 200	16 167 200	117 862	16 200	137,2	31 823	67 181	10 254
Даугава	40 600	2 783 200	86 052	20 700	32,3	44 747	17 210	7 917
Неман	46 800	4 890 900	92 318	20 000	53,0	27 695	45 236	7 108
Нарва	6 500	936 100	56 797	10 700	16,5	28 966	13 631	3 067
Кемийоки	8 500	108 100	51 036	23 300	2,1	39 808	102	8 166
Гета-Эльв	20 300	1 003 300	48 326	23 100	20,8	30 445	4 156	2 368
Турне-Эльв	8 100	79 700	39 705	17 800	2,0	23 029	199	13 103
Индальсельвен	6 700	109 200	25 518	19 100	4,3	18 118	255	4 083
Преголя	9 500	1 283 600	14 783	2 700	86,8	2 365	10 348	917
Гауя	3 000	155 300	8 652	2 100	17,9	4 239	2 596	1 038
Лиелупе	10 700	668 200	17 876	2 400	37,4	3 575	11 441	1 448
Вента	5 200	347 600	11 624	2 200	29,9	3 138	6 509	1 035

При построении однопараметрических линейных моделей для фосфора общего было выявлено, что коэффициенты детерминации ранжируются следующим образом:

$$x_1\ (r^2 = 0{,}96) > x_6\ (r^2 = 0{,}87) > x_7\ (r^2 = 0{,}73) > x_4\ (r^2 = 0{,}57) >$$
$$> x_2\ (r^2 = 0{,}50) > x_3\ (r^2 = 0{,}31) > x_5\ (r^2 = 0{,}1) > x_8\ (r^2 = 0{,}01).$$

Таким образом, наиболее информативным показателем при построении количественной модели, описывающей зависимость поступления фосфора общего со стоком трансграничных рек в Балтийское море, является количество населения на территории водосборного бассейна. Эта модель имеет следующий вид (см. также рис. 1):

$$Q_р = 248 + 0{,}000283 \cdot x_1;$$
$$N = 14;\ r = 0{,}979;\ r^2 = 0{,}959;\ \sigma_{Y(X)} = 429;\ F_р = 280{,}6;\ F_т = 4{,}67. \quad (1)$$

Здесь N – количество рек; r – коэффициент корреляции (теснота связи между переменными); r^2 – коэффициент детерминации (объяснимая доля разброса); $\sigma_{Y(X)}$ – стандартная ошибка; $F_р$ – расчетное значение критерия Фишера; $F_т$ – табличное значение критерия Фишера для уровня значимости 95 %.

Приведенные статистические характеристики показывают, что модель (1) адекватна ($F_р > F_т$) и более того, может быть использована для ориентировочного прогнозирования ($F_р > 4\ F_т$) поступления в Балтийское море фосфора общего со стоком тех рек, данные для которых не были использованы при построении модели и для которых такие данные имеются [2].

При $x_1 = 0$ (отсутствие населения на водосборном бассейне) величина $Q_P = 248$ т. Это значение характеризует усредненную природную составляющую стока фосфора общего в Балтийское море для всего рассмотренного водосборного бассейна площадью 1 050 449 км^2.

Помимо количества населения на водосборном бассейне (x_1), другими достаточно информативными дескрипторами являются площадь пахотных угодий на водосборе (x_6) и площадь кустарников или травянистого покрова (x_7). Коэффициент детерминации равен: между x_1 и x_6 0,91; между x_1 и x_7 0,62 и между x_6 и x_7 0,49.

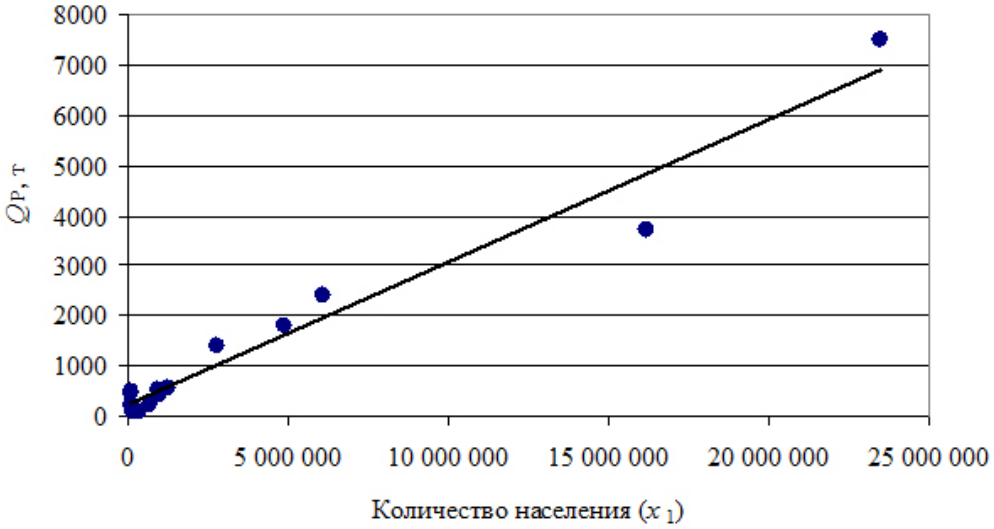


Рис. 1. Зависимость поступления фосфора общего со стоком трансграничных рек в Балтийское море от количества населения на водосборах рек

Согласно ПДБМ, максимально допустимое поступление фосфора общего в Балтийское море составляет 21 060 т/год. С другой стороны, как следует из вышеприведенной табл. 2, со стоком 14 трансграничных рек в 2000 г. в Балтику поступило 19 930 т фосфора общего , что составляет 94,6 % от максимально допустимого поступления от различных источников.

При анализе данных, приведенных в табл. 3, была выявлена следующая статистически значимая зависимость между поступлением в Балтийское море азота общего со стоком трансграничных рек и количеством населения на их водосборных бассейнах (см. также рис. 2):

$$Q_N = 9940 + 0{,}004446 \cdot x_1;$$
$$N = 14;\ r = 0{,}934;\ r^2 = 0{,}873;\ \sigma_{Y(X)} = 12\,440;\ F_р = 82{,}37;\ F_т = 4{,}67. \quad (2)$$

Приведенные статистические характеристики показывают, что модель (2) адекватна ($F_р > F_т$) и, более того, может быть использована для ориентировочного прогно-

зирования ($F_р$ >4 $F_т$) поступления в Балтийское море азота общего со стоком тех рек, данные для которых не были использованы при построении модели и для которых такие данные имеются.

При x_1 = 0 (отсутствие населения на водосборном бассейне) величина Q_N = 9 940 т. Это значение характеризует усредненную природную составляющую стока азота общего в Балтийское море для всего рассмотренного водосборного бассейна площадью 1 050 449 км^2.

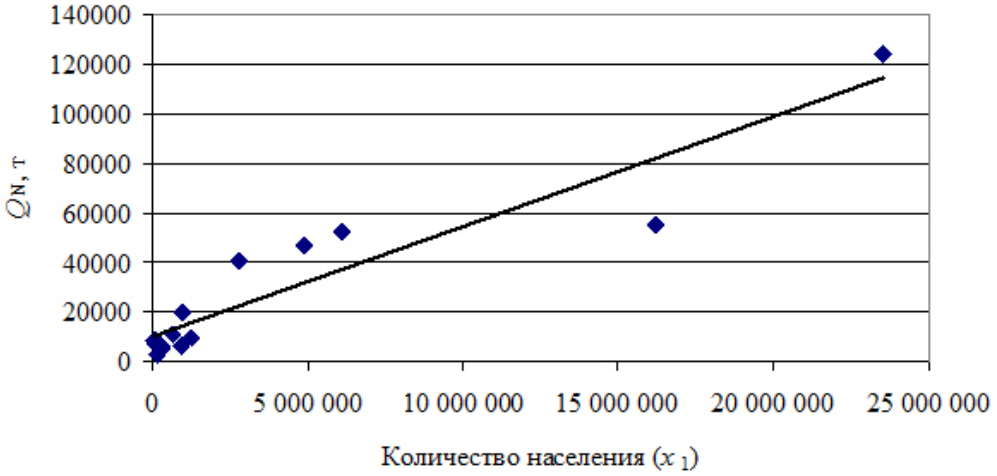


Рис. 2. Зависимость поступления азота общего со стоком трансграничных рек в Балтийское море от количества населения на водосборах рек

Кроме количества населения на водосборном бассейне (x_1), другими достаточно информативными дескрипторами являются площадь пахотных угодий на водосборе (x_6), площадь кустарников или травянистого покрова (x_7) и площадь водосборного бассейна (x_2).

Согласно ПДБМ, максимально допустимое поступление азота общего в Балтийское море составляет 601 720 т/год. С другой стороны, как следует из вышеприведенных данных, со стоком 14 трансграничных рек в 2000 г. в Балтику поступило 397 600 т азота общего, что составляет 66,1 % от максимально допустимого поступления от различных источников.

В дополнение к изложенному была выявлена статистически значимая зависимость между поступлением в Балтийское море азота общего и фосфора общего со стоком трансграничных рек (см. также рис. 3):

$$Q_N = 5539 + 16{,}6 \cdot Q_P;$$
$$N = 14; r = 0{,}976; r^2 = 0{,}952; \sigma_{Y(X)} = 7\,672; F_р = 236{,}12; F_т = 4{,}67. \quad (3)$$

Зависимость (3) может быть полезной для ориентировочного прогнозирования поступления азота общего или фосфора общего в Балтийское море со стоком тех рек,

данные для которых не были включены в модель. Для этого достаточно рассчитать поступление в море одного из рассматриваемых биогенных элементов и по уравнению (3) провести расчет поступления другого биогенного элемента.

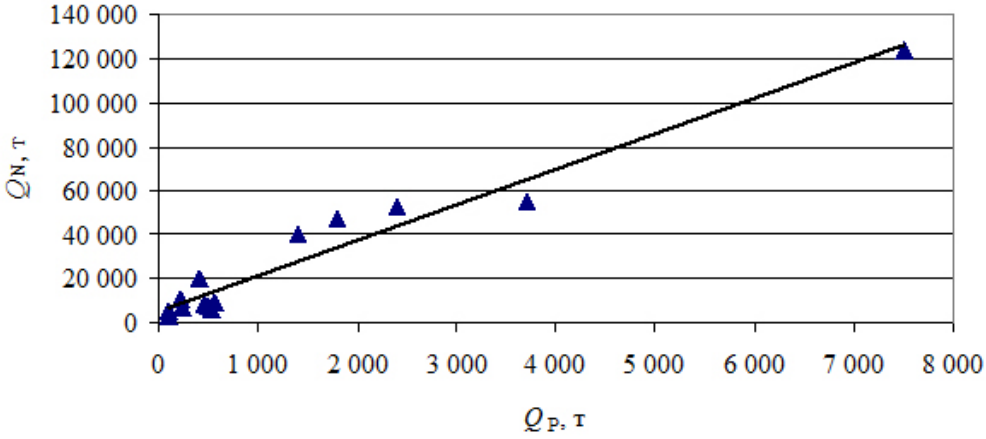


Рис. 3. Зависимость между поступлением в Балтийское море азота общего и фосфора общего со стоком трансграничных рек.

Литература

1. *Кондратьев С.А.* Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. – СПб.: Наука, 2007 - 253 с.
2. *Ландау М.А.* Молекулярные механизмы действия физиологически активных соединений. – М.: Наука, 1981 – 262 с.
3. *Морозова И.А., Шмидова Л.Б., Талалаев С.М.* Трансграничное загрязнение Балтийского моря. – СПб.: СПбГТУ, 2000. – 52 с.
4. *Фрумин Г.Т., Степанова Е.В.* Квотирование биогенной нагрузки на Балтийское море // Сб. тезисов IX Междунар. экологического форума «День Балтийского моря». – СПб.: Изд-во «ДИАЛОГ», 2008, с. 318-319.
5. *Хупфер П.* Балтика – маленькое море, большие проблемы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 136 с.
6. *Цветков В.Ю., Сорокин И.Н.* Финский залив – природный и морехозяйственный комплекс России. – СПб.: Институт озероведения РАН, НОУ ДПО «ИПК «Прикладная экология», 2009. – 223 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

М.А.Трубина, В.М.Сакович, В.Н. Абанников, Е.Г.Григорьева, Э.В. Подгайский

ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ

M.A. Trubina, V.M. Sakovich, V.N. Abannikov, E.G. Grigor'eva, E.V. Podgaysky

FORMATION OF THE SCIENTIFIC AND METHODICAL SUPPORT WEB - TECHNOLOGY FOR TRAINING OF PROFESSIONAL STAFF

В статье рассматриваются и обсуждаются проблемы и перспективы развития системы дистанционного обучения (СДО) в Российском государственном гидрометеорологическом университете на основе опыта внедрения веб-технологий (вебинаров) и методов педагогического проектирования. Данный инновационный подход позволяет привлечь к преподавательской деятельности и консультированию специалистов самого высокого уровня, что делает доступным получение качественных знаний в режиме on-line для очной и заочной формы обучения студентов, молодых ученых и всех заинтересованных специалистов.

Ключевые слова: дистанционное обучение, вебинар, методика, прикладная гидрометеорология, информационные технологии, педагогическое проектирование, сценарий, интернет-платформа.

The paper considers and discusses the problems and prospects of distance learning (DL) in the Russian State Hydrometeorological University, based on experience in implementation of web technologies (webinars) and methods of instructional design. This innovative approach can bring the top professionals to teaching and counseling online, making high-quality knowledge available to full-time and distance learning students, young scientists and all interested individuals.

Key words: distance learning, webinar, methodology, applied hydrometeorology, information technology, instructional design, scriptwriting, web-based platform.

Введение

«Не сумма знаний, а правильный образ мышления и нравственное воспитание - вот цель обучения».
М.В. Ломоносов

Модернизация системы образования в России ставит задачу внедрения инновационных методов обучения и ориентирована на реализацию высокого потенциала компьютерных и телекоммуникационных технологий (ИКТ), в том числе дистанционных образовательных технологий взаимодействия обучающегося и преподавателя. Дистанционное обучение естественным образом интегрируется в реальную систему обучения вуза (очное, заочное, вечернее, экстернат), совершенствуя и развивая ее за счет создания мобильной информационной среды (ИС) обучения, расширения сети образовательных структур (филиалов, представительств) в России и за рубежом [11, 24]. Важным фактором в направлении развития современного образования является формирование у обучаемых навыков и умений *самостоятельной когнитивной деятельности* с использованием современных и перспективных средств информационных технологий. Такой подход обеспечивает принципиально новый уровень доступности образования, равные образовательные возможности самым широким слоям населения при сохранении его качества.

Комплексная система дистанционного обучения (СДО) для совершенствования профессионального образования включает:

– построение системы управления знаниями;
– организацию образовательного портала;
– квалифицированный профессорско-преподавательский состав (ППС);
– обучение, оценку и тестирование обучаемых.

В последнее десятилетие большую популярность получило обучение в сети Интернет, так называемое сетевое обучение, с использованием веб-технологий. Развитие и постоянное совершенствование сетевого обучения расширяет возможности современной системы СДО. Изучение современного международного и российского опыта организации СДО дает возможность познакомиться с новинками веб-технологий как инструмента модернизации системы образования.

Переход к инновационному образованию требует изменения роли преподавателя и формирования нового представления об его профессиональной компетентности и деятельности. Любой шаг в этом направлении предполагает переход от концепции преподавания как вербальной передачи информации к личностно-ориентированной парадигме образования [11, 24]. Проведение видео- и телевизионных лекций, компьютерных видеоконференций, возможность on-line – консультаций с преподавателем делают взаимодействие обучаемых с преподавателями даже более интенсивными, чем при традиционной форме обучения. Поэтому особенностью развития современного образования является ***изменение методов и технологий преподавания***, ориентация на личностно-ориентированное обучение, формирование у студентов навыков *умений учиться*, *умений самостоятельной когнитивной деятельности* и *мотивации*.

С государственной точки зрения главное преимущество СДО состоит в том, что оно одновременно способствует как повышению эффективности образовательных систем,

так и снижению расходов на их содержание, а также интеграции образовательных ресурсов России и международного сообщества. Особая роль принадлежит развитию технологий организации сетевой педагогической деятельности, так как только такой подход обеспечит взаимопонимание участников образовательного процесса [3, 10, 11, 16-19, 24].

Актуальность

Одной из актуальных задач современного международного образования является активное внедрение СДО, особенно электронного обучения или так называемое *e-learning,* обучения в сети Интернет с использованием веб-технологий. Современное развитие *e-learning* обусловлено широким внедрением новейших средств вычислительной техники, ИКТ, веб-технологий, спутниковой и мобильной связи, что определяет дальнейшие перспективы СДО как самостоятельного успешного направления в рамках непрерывного образования. В силу своей специфики *e-learning* наиболее адекватно и гибко реагирует на потребности общества, соответствует стратегии развития системы образования общества в целом, где во главу угла ставятся индивидуальный подход к человеку и свободный доступ к мировым знаниям, что и обеспечивает реализацию конституционного права на образование каждого гражданина страны.

Развитие и постоянное совершенствование *e-learning* значительно расширяет возможности современной системы открытого и дистанционного обучения, при этом внедрение СДО в России регламентируется государственными образовательными программами [3]. Ключевым нормативным ведомственным актом, направленным на правовое регулирование дистанционного образования, является приказ Минобразования РФ от 18 декабря 2002 г. № 4452 «Об утверждении Методики применения дистанционных образовательных технологий (дистанционного обучения) в образовательных учреждениях высшего, среднего и дополнительного профессионального образования Российской Федерации» [18]. Широкое внедрение методов и технологий *e-learning* регламентируется государственными образовательными программами РФ и регулируется ведомственными нормативными актами [16, 17]. Введение новых федеральных государственных программ и образовательных стандартов также ставит задачу развития инновационных форм обучения и педагогических технологий [15, 19]. Основой развития СДО являются высококачественные электронные образовательные ресурсы (ЭОР), которые позволяют проводить стандартизацию учебного процесса и способствуют повышению качества учебной деятельности. В настоящее время в России уже накоплен и используется широкий спектр ЭОР, включающих методические материалы, технологии и программные средства учебного назначения [2, 3, 10].

Основной идеей СДО является создание учебной информационной среды (ИС), которая предоставляет уникальные возможности учащимся и значительно расширяет спектр образовательных услуг. Составной частью такой среды являются как обучаемые, так и преподаватели, взаимодействие которых осуществляется с помощью современных ИКТ. При этом ЭОР становятся все более важной компонентой информационного обеспечения учебного процесса, который может быть организован в соответствии с различными моделями: в *дистанционной форме обучения*, в *традиционном учебном процессе* (особенно при заочной форме обучения), а также в *самообразовании*.

Подготовка и внедрение ЭОР требуют пересмотра целого ряда критериев, определяющих структуру и содержание образовательных программ, т.е. приближения их к мировым стандартам, а также модернизации педагогических технологий, внедрения ИКТ и инновационных способов контроля эффективности обучения и качества образования [4, 11, 12, 22]. Этот процесс требует от преподавателей не только высокой информационной культуры, но и больших временных затрат на подготовку ЭОР. В современном мире носители уникальных узкоспециальных знаний, необходимых для обеспечения подготовки высококачественных профессиональных и научных кадров, отличаются географической разобщенностью и большой занятостью. Поэтому интерактивное сетевое обучение является эффективным методом привлечения кадров высокой квалификации для открытого образования.

Одним из эффективных и популярных инструментов СДО являются *вебинары*, т.е. интерактивные семинары, проводимые через сеть Интернет, позволяющие привлекать к преподавательской деятельности и консультированию специалистов самого высокого уровня, что делает доступным получение качественных знаний для очной и заочной форм обучения студентов, молодых ученых и всех заинтересованных специалистов [7-9, 14, 20-22, 30]. Весьма активно эта веб-технология используется в среде бизнес-образования, а в последнее время, благодаря новаторам – в школьном и вузовском обучении.

Специфика подготовки профессиональных кадров в гидрометеорологии

РГГМУ является ведущим и единственным вузом в России, включая два филиала в Туапсе и Ростове-на-Дону, ориентированным на специализированную подготовку по направлению *прикладная гидрометеорология*. В направлении «прикладная гидрометеорология», относящемся к области техники и технологий, предусмотрены следующие профили: прикладная метеорология, прикладная гидрология, прикладная океанология, информационно-измерительные системы в гидрометеорологии. Специфика деятельности РГГМУ заключается в следующем:

Во-первых, университет является базовым вузом учебно-методического объединения (УМО) по гидрометеорологии в России. Основной задачей УМО является разработка основных образовательных программ и обеспечение вузов, ведущих подготовку по направлению «прикладная гидрометеорология», примерными учебными планами, программами, перечнем необходимого ресурсного обеспечения, документами, регламентирующими организацию образовательного процесса и рекомендованными образовательными технологиями, предложениями по системе оценки качества подготовки выпускников в компетентностном формате.

Во-вторых, РГГМУ активно сотрудничает с Росгидрометом в области подготовки специалистов для оперативных, научно-исследовательских и других подразделений и учреждений Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, других заинтересованных министерств и ведомств. Внедрение в системе Росгидромета новых современных ИТ в области сбора, обработки и передачи гидрометеорологических данных, модернизация и техническое переоснащение оперативно-производственных структур требуют *новых подходов к подготовке/пере-*

подготовке специалистов, а также *совершенствования целевой системы подготовки/переподготовки кадров* для работы в Гидрометслужбе России [13, 28].

В третьих, университет активно сотрудничает с международными научными и учебными организациями Финляндии, Германии, Великобритании, Испании, Италии, Мексики, КНР, Польши, Португалии, Швеции, Дании, Норвегии и других стран, имея статус Регионального метеорологического учебного центра Всемирной метеорологической организации.

Следовательно, для повышения качества подготовки профессиональных кадров необходимо внедрять инновационные методы обучения, ориентированные на развитие методов СДО.

В соответствии со Стратегическим планом развития РГГМУ на 2008-2013 гг. «*...одной из производительных сил, предопределяющих как развитие, так и социально-экономический статус вуза, сегодня становится информатизация*» [23]. Следовательно, внедрение ИКТ – это одно из приоритетных направлений развития университета, направленное на развитие телекоммуникационной инфраструктуры и формирование единого информационного пространства, интегрированного с мировой информационной инфраструктурой.

Одной из ключевых задач информатизации РГГМУ является повышение производительности труда профессорско-преподавательского состава за счет создания собственных электронных информационных ресурсов учебного назначения, обеспечения научных исследований и управления, организации доступа к отечественным и мировым информационным ресурсам, разработки и внедрения современных методик ведения различных форм обучения, основанных на использовании передовых ИКТ.

Для совершенствования структуры и содержания научно-методического обеспечения профессионального гидрометеорологического образования в университете поставлена одна из комплексных задач модернизации системы обучения: *формирование специализированной информационной среды обучения в науках о Земле и окружающей среде и создание новой технологической платформы для СДО*.

Специфика подготовки студентов по «прикладной гидрометеорологии» предъявляет высокие требования к компетентности профессорско-преподавательского состава, а в связи с территориальной удаленностью требует современных средств телекоммуникаций для общения и обмена опытом ведущих специалистов Гидрометслужбы. Разработка уникальных образовательных программ ставит перед университетом инновационные задачи создания эффективных педагогических технологий и широкого использования ИКТ.

Для обеспечения качественной профессиональной подготовки специалистов можно выделить ряд ключевых проблем:

- подготовка студентов в соответствии с новыми программами;
- повышение фундаментальности образования в сочетании с усилением практической направленности;
- интенсификация образовательного процесса за счет оптимального сочетания традиционных и инновационных форм, методов и средств обучения;
- четкая постановка дидактических задач и их реализация в соответствии с целями и содержанием обучения;

– информатизация образования, основанная на творческом внедрении современных информационных технологий обучения.

Одним из решений этих проблем является активное внедрение в учебный процесс веб-технологий, использование возможностей и преимуществ работы в социальных сетях, а в будущем и обучение с помощью мобильных средств связи [26, 27]. Возможности интерактивного сетевого обучения, с одной стороны, являются эффективным методом привлечения носителей уникальных узкоспециальных знаний – кадров высшей квалификации, учитывая их большую занятость, в процессе обеспечения подготовки высококачественных профессиональных и научных кадров и территориальную удаленность метеорологических станций и постов друг от друга. С другой стороны, сетевое обучение позволяет привлечь большую аудиторию и обеспечить доступ к уникальным электронным учебным материалам (ЭУМ): *электронной библиотеки, медиатеки лекций, тематических видеофильмов, подкастов, вебкастов, вебинаров* и других видов *цифровых ресурсов*.

Успешным опытом внедрения веб-технологий и методов сетевого обучения в университете является использование модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды MOODLE, технологии производства мультимедийных учебных материалов с помощью программ Adobe Flash (webcast-технологии) и Articulate [1, 5, 25-27, 30], а также возможностей «чата» и «скайпа». Весьма эффективным оказался многолетний опыт ведения лекций доцентом Н.В. Сердитовой из Тверского государственного университета с помощью технологии вебинаров в мультимедийной аудитории РГГМУ по дисциплине «Экономика природопользования» студентам направления «Экономика» и «Экология и природопользование».

Научно-методическое обеспечение проведения вебинаров

В настоящее время в РГГМУ, как и в большинстве вузов России, осуществляется постепенное внедрение электронных образовательных ресурсов (ЭОР) в учебный процесс. Цель данной работы - развитие системы дистанционного обучения при подготовке профессиональных и научных кадров в вузе на основе веб-технологий. Объектом исследования является научно-методическое обеспечение использования веб-технологий (вебинаров) при подготовке профессиональных кадров. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– *технологическая задача* включала:
  а) изучение современного международного и российского опыта проведения вебинаров, выявления технологических особенностей подготовки вебинаров, выбора наиболее оптимальной Интернет-платформы;
  б) проведение контент-анализа информационных ресурсов вебинаров, обобщение передового опыта ведущих вендоров, систематизацию;
  в) подготовку научно-методологической базы (информационные материалы, методики, примеры эффективных учебных on-line - занятий и т.п.);
– *педагогическая задача* включала сочетание традиций педагогической и научной школ университета с современными ИТ;
– *методическая задача* включала проведение аналитических исследований по теории проведения вебинаров, методологии педагогического дизайна и практическому применению вебинаров.

Научная новизна данной работы заключается в разработке модели информационно-предметной среды, включающей организационные, педагогические, технологические и информационно-коммуникативные компоненты. Теоретически обоснован и экспериментально проверен алгоритм создания и проведения вебинаров в учебном процессе по профессиональной подготовке будущих специалистов по «прикладной гидрометеорологии». Разработанная авторским коллективом методика и технология проведения вебинаров предназначена для преподавателей, использующих дистанционные методы обучения (веб-технологии), для студентов очной и заочной форм обучения и слушателей программ профессиональной подготовки. Методика включает следующие разделы:

– анализ потребностей факультета заочного обучения (ФЗО) и выбор тематики вебинаров;
– выбор оптимального программного обеспечения (веб-сервиса);
– подготовка вебинаров и интеграция разработанных веб-модулей в учебный процесс.

Одним из основных методов процесса создания вебинаров является *педагогическое проектирование,* или *педагогический дизайн*. Термин «педагогический дизайн» достаточно редко можно встретить в отечественной литературе, и он еще недостаточно используется разработчиками электронных учебных материалов (ЭУМ). Педагогическое проектирование (ПП) – «область знаний, в рамках которой предписываются конкретные педагогические действия для достижения желаемых результатов; процесс принятия решений о наилучших педагогических методах для осуществления желаемых изменений в знаниях и компетенциях с учётом конкретного содержания образовательного мероприятия и его целевой аудитории» [4, 15, 29]. Основой ПП является единая система: *цели обучения*, *учебный материал* и *инструменты*, доступные для передачи знаний. Педагогическое проектирование рассматривается как *процесс, дисциплина, наука.*

Основная цель педагогического проектирования – создавать и поддерживать ИС, в которой, на основе наиболее рационального представления, взаимосвязи и сочетания различных типов образовательных ресурсов, обеспечивается педагогически обоснованное и психологически комфортное развитие личности. Создание благоприятной ИС как для преподавателей, ведущих дистанционное обучение, так и для обучаемых в итоге позволит более эффективно использовать не только дистанционные образовательные технологии, но и время для освоения новых ЭУМ.

Ключевой идеей развития ПП как творческой задачи является реализация *собственного творческого потенциала преподавателей* не на интуитивном уровне, а в соответствии с правилами и канонами ПП. Процесс педагогического проектирования предусматривает следующие стадии развития:

Стадия 1 – анализ потребностей в обучении и формулирование желаемых результатов.

Стадия 2 – разработка планов (программ) и основ проектных решений, направленных на удовлетворение потребностей в обучении и достижение результатов.

Стадия 3 – разработка обучающих, раздаточных, презентационных и других материалов на основе планов и проектных предложений.

Стадия 4 – реализация программ, использование методических и других материалов в процессе обучения.

Стадия 5 – оценка эффективности обучения, педагогическая коррекция.

Как показывает опыт, освоение методов ПП является весьма нетривиальной задачей и требует не только профессионализма и компетентности преподавателя, но тщательной разработки сценария проведения занятия и конструкции мультимедийной презентации. В основе ПП содержатся педагогические методы, которые можно разложить на приемы и отдельные методики:

– содержательная часть обучения;
– сочетание теории и практики;
– методы мотивации и привлечения внимания;
– формирование мотивации;
– желание продолжать обучение.

Следует отметить – необходимые технические возможности, такие как описание возможностей анимаций, графиков и прочих дополнений к основному материалу, предоставляются веб-сервисами.

Спецификой ПП является ***искусство подготовки электронного занятия***, чтобы проведение вебинаров не стало общением обучаемых с «говорящей головой». Поэтому особое внимание надо уделять *организации, динамике проведения on-line занятий, заинтересованности и мотивации обучающихся, скорости восприятия материала, утомляемости и ряде других важных психосоциальных показателей*.

Подготовка вебинаров на основе использования мультимедиа представляет собой *проектную деятельность* и заключается в выборе набора медиа-компонент и интерактива и их применении для оптимизации обучения в соответствии с поставленными целями. В этом проекте должны быть обозначены цели, содержание обучения с описанием уровней трудности, педагогические методы и технологии, информационные средства и стратегии оценки (вопросы, тесты и т.д.).

При педагогическом проектировании дистанционных образовательных технологий обычно предусматривается создание следующих материалов:

– информационных (основная информация, которая должна быть изучена);
– дополнительных информационных (глоссариев, исторических справок, энциклопедических статей и др.);
– диагностических (тестовых и практических заданий);
– рефлексивных (анкет);
– коммуникативных (форумов и чатов).

Компоненты ПП мультимедийных учебных систем показаны на рис. 1.

Специфика проведения вебинаров

Термин «вебинар» происходит от английского слова «webinar», сокращенного от «web-based seminar», т.е. семинар в среде Интернет. Вебинар является одним из видов веб-конференции и обычно имеет образовательный характер – это лекции, презентации или семинары на заданную тему. Технология вебинаров (веб-конференций) позволяет организовать двухстороннюю связь со слушателями в ходе виртуального мероприятия.

Рис. 1. Компоненты ПП мультимедийных учебных систем

Для участия в вебинаре необходимы компьютер с доступом в Интернет и программное обеспечение (ПО) для аудио- и видеотрансляции, наличие оборудования: микрофон, наушники, веб-камера. Проведение вебинара происходит в «виртуальном классе» посредством подключения участников к запланированному мероприятию. Участники могут слышать и видеть лектора, задавать вопросы (в чате или через голосовую связь).

Ведущий вебинара (лектор) может использовать инструменты электронной доски для рисования, проводить опросы в режиме реального времени. Он имеет возможность проводить показ активных приложений, демонстрировать не только собственный рабочий стол компьютера, но и подключаться к компьютерам слушателей. После завершения мероприятия остается запись вебинара, которую можно использовать в целях обучения. Организация проведения вебинара предполагает работу в команде и распределение по ролям: *администратор, преподаватель, модератор, участник*.

Администратор выполняет задачи по назначению вебинара, регистрации и оповещении слушателей.

Преподаватель проводит занятия, организует on-line-тестирование, имеет доступ ко всем функциям вебинара. У преподавателя, зарегистрированного в виртуальном классе, есть личный кабинет, где он может планировать и создавать свои мероприятия. В кабинете отображается расписание со всеми мероприятиями и заданиями, сохраняются видеозаписи и статистика проведенных вебинаров, хранятся учебные материалы. Преподаватель может совмещать функции администратора и модератора: самостоятельно составлять расписание вебинаров и поддерживать контроль среди слушателей во время прохождения вебинара.

Модератор имеет право доступа к настройкам веб-занятия, является активным помощником преподавателя и выполняет технологические и организационные дей-

ствия по проведению занятия: объясняет права обучаемым, отвечает на вопросы в чате в силу своей компетенции, проверяет вопросы, задаваемые в чате, регулирует права слушателей.

Слушатель активно участвует в вебинаре, отвечает на вопросы преподавателя в чате, может «поднять руку», т.е. задать вопрос по ходу занятия.

Система администрирования большинства Интернет-платформ располагает сервисом регистрации слушателей, что позволяет приглашать на вебинары и напоминать о приближении события по электронной почте за определенный период (1 день, 20 мин, 5 мин). Возможно предоставление единой ссылки на вебинар незарегистрированным пользователям, где они должны ввести свои данные для идентификации.

Для выбора оптимальной Интернет-платформы и сравнения характеристик ПО разных производителей разработаны научно-методические подходы, включающие отбор критериев, определяющих функциональность решения, коммерческие характеристики и систему поддержки пользователя, анкетирование поставщиков веб-сервисов и сравнительный анализ показателей путем экспертной оценки. На основе проведенного авторами анализа сделан вывод, что оптимальной веб-технологией для проведения вебинаров в РГГМУ является Web-сервис Virtual Room компании Mirapolis.

Достижению педагогических результатов обучения (восприятия и запоминания учебного материала) способствует эффективная организация визуальной информации, применение приемов технического дизайна, а также подача учебного контента, организованная по времени. Демонстрационными материалами для вебинара служат презентации, созданные в пакете PowerPoint или другого ПО, файлы формата pdf, документы MS Office, графические файлы, анимационные файлы формата gif, видеозаписи из архива лектора и с сайта Youtube.com. Дополнить материалы можно файлами формата Flash Player (swf), предназначенными для хранения векторной графики, анимационных клипов и звуковых файлов.

Организация работы педагогической творческой мастерской

Для решения методической задачи подготовки и проведения вебинаров было выбрано одно из направлений научных школ университета *«Исследования атмосферных процессов и явлений, оценка изменений климата под влиянием естественных и антропогенных факторов в интересах обеспечения народного хозяйства и охраны окружающей среды»* (ведущий ученый - д-р геогр. наук, профессор, А.И. Угрюмов). Организация учебного процесса проводилась для студентов заочной формы обучения.

Для внедрения в учебный процесс данной веб-технологии в РГГМУ была создана *педагогическая творческая мастерская* (ПТМ), в состав которой вошли ведущие преподаватели («лекторы») и специалисты по информационным технологиям («технологи»). Основной принцип работы ПТМ – *работа в сотрудничестве*, когда, перенимая опыт коллег, преподаватели могут проявлять инициативу, экспериментировать с оборудованием, новыми педагогическими и информационными технологиями, интерактивными программами и др. Схема взаимодействия участников процесса для проведения вебинаров в РГГМУ приведена на рис. 2.

Рис. 2. Схема взаимодействия участников вебинаров

Основа работы ПТМ – освоение *педагогических технологий*, включающих методы и приемы обучения СДО для осуществления учебного процесса on-line в соответствии с выбранной концепцией обучения. Планируемый результат этой деятельности – создание авторских вебинаров, разработка индивидуальных траекторий профессионального развития лекторов и подготовка методических рекомендаций для подготовки и проведения вебинаров. В группу лекторов были приглашены ведущие преподаватели, рекомендованные научными школами университета, в группу технологов – сотрудники информационно-вычислительного центра университета. Список лекторов и тем пилотных вебинаров представлен в таблице.

Обычно опытные преподаватели имеют наработанную схему проведения занятия в учебной аудитории, но, как показала практика, виртуальное занятие имеет свои особенности. Большое внимание в работе ПТМ было уделено обучению профессорско-преподавательского состава созданию профессиональных мультимедийных презентаций, которые являются базисом вебинаров, а также проведению вебинаров и возможности их трансляции при помощи веб-технологий. Для углубленного изучения практической реализации вебинаров для преподавателей были сформированы информационные ресурсы, включающие литературные источники, методические и практические материалы для освоения этой веб-технологии.

Выбор основной Интернет-платформы для проведения вебинаров для данного проекта был обусловлен возможностью использования сервиса «Web–class» на безвозмездной основе. Однако, как оказалось, существенным недостатком этой Интернет-платформы оказался ограниченный набор мультимедийных инструментов для проведения вебинара, в том числе, например, отсутствие анимации при показе слайдов, неустойчивая работа сервера компании «WebSoft» при проведении вебинара (задержка звука, сбой связи), что возможно было обусловлено перегрузкой самого сервера.

Список ведущих лекторов и тем вебинаров

Лектор	Степень, звание, кафедра	Тема вебинара
Богаткин Олег Георгиевич	канд. геогр. наук, профессор кафедры метеопрогнозов	Авиационная метеорология от зарождения до наших дней
Веретенников Валентин Николаевич	канд. геогр. наук, профессор кафедры математики	Понятие функции
Григоров Николай Олегович	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры ЭФА	Актинометрические измерения
Неелова Людмила Олеговна	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры метеопрогнозов	История становления и развития гидродинамического метода прогноза погоды
Угрюмов Александр Иванович	доктор геогр. наук, профессор кафедры метеопрогнозов , заслуженный метеоролог РФ	Синоптические процессы и погода умеренных широт
Павлов Александр Николаевич	доктор геол.-минерал. наук, профессор кафедры гидро-геологии и геодезии	Взаимодействие геосфер
Петрушенко Вера Давыдовна	канд. геогр. наук, доцент кафедры МКОА	Агрометеорология: основные процессы жизнедеятельности растений

Были разработаны педагогическая технология и техническое задание подготовки вебинара, включающая алгоритм и контент вебинара (шаблоны информационной карты и условного сценария, учебно-методические материалы и т.п.), методы подготовки и тестирования презентаций, содержащих мультимедийные элементы, и возможности их трансляции при помощи той или иной Интернет-платформы. Особое внимание было уделено организации проведения вебинара. Для проведения пробных вебинаров были организованы целевые фокус-группы слушателей (студенты, лекторы, сотрудники и желающие).

Для внедрения в учебный процесс была разработана многоуровневая схема информирования слушателей о будущих вебинарах, которая приведена на рис. 3.

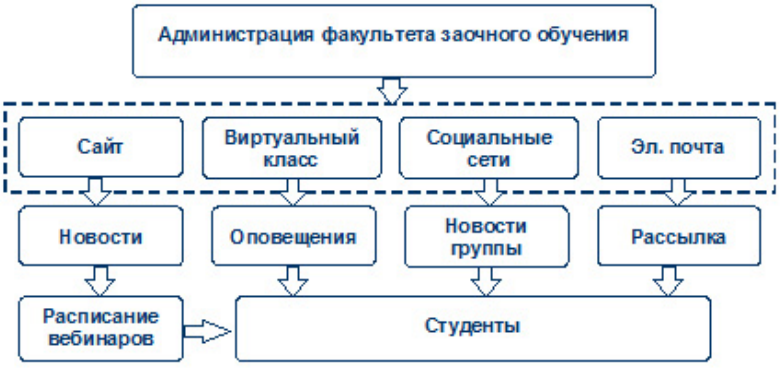


Рис. 3. Схема информирования слушателей

В качестве примера на рис. 4 представлен фрагмент сценария вебинара.

Сценарий вебинара А.И. Угрюмова

Общий объем вебинара 90 мин.
Организационные слайды –1-2 мин.
Информационные слайды – определяется индивидуально - 45 мин.
Опрос –5 мин. Ответы на вопросы в чате –5-7 мин.

1. **Титульный лист. Слайд 1**

Вступительные слова: «Здравствуйте, тема …»
Тема лекции. «Синоптические процессы умеренных широт»

2. **Персональные данные. Слайд 2**

Лектор: Угрюмов Александр Иванович, доктор географических наук, профессор РГГМУ, заслуженный метеоролог Российской Федерации Контакты: e-mail: ugriumov-met@mail.ru, телефон кафедры: (812)444-82-61

3. **Как будет проходить занятие. Слайд 3**

Особенности on-lime занятия

4. **Знания, необходимые для изучения материала. Слайд 4**
5. **Содержание занятия. Слайд 5**

Перечень подтем– не более 7.

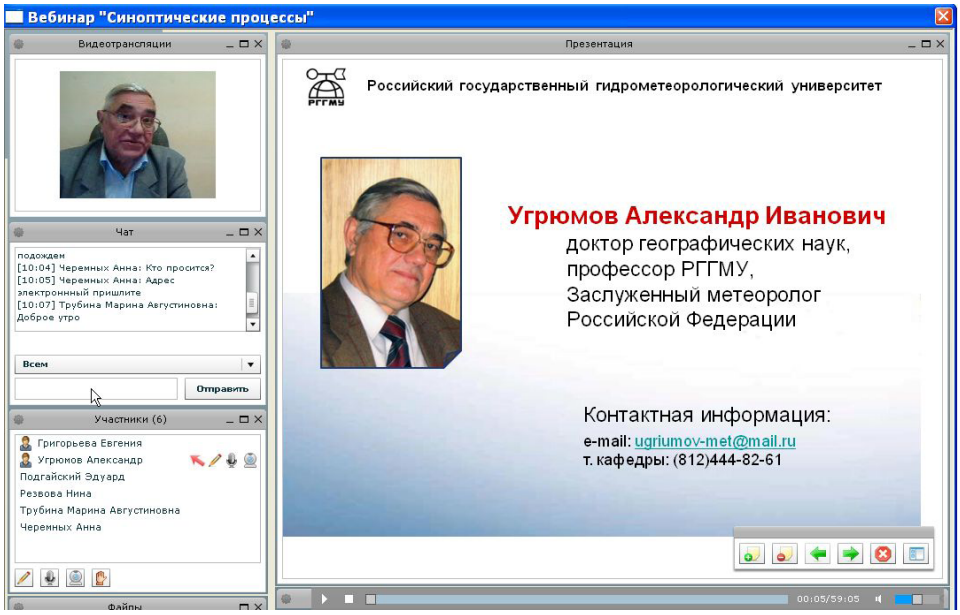
6. **Подтема 1. Слайд 6. Введение**

№ слайда	Информация (краткий текст лектора)	Изображение на слайде	Интерактивные действия
7	Цель лекции и значимость изложенных в ней знаний для будущего синоптика-прогнозиста	Рис.1. Карта синоптико-климатических зон Земли по Б.П. Алисову	указка
8	Что такое синоптическая климатология и как можно объяснить климат на основе анализа синоптических процессов в противовес классической климатологии	Рис.2. Синоптико-климатологическое описание Средней Азии по В.А. Бугаеву.	указка
9	**Западно-восточный перенос в атмосфере**		
10, 11	Формирование западно-восточного переноса в атмосфере	Рис.3. Глобальное распределение градиентов температуры и давления в свободной атмосфере. Рис.4. Карта АТ-500 за январь	рисунки последовательно
-	-	-	-
	Рекомендуемая литература, Заключительный слайд	По итогам вебинара будет открыта тема на форуме СДО MOODLE РГГМУ, информация о следующих занятия	

7. **Обратная связь.** Опрос, обработка результатов опроса (выведение на экран), ответы на вопросы чата

Рис. 4. Фрагмент сценария вебинара А.И. Угрюмова на тему «Синоптические процессы умеренных широт»

Фрагменты вебинаров, проведенных лекторами ПТМ, представлены на рис. 5-6.



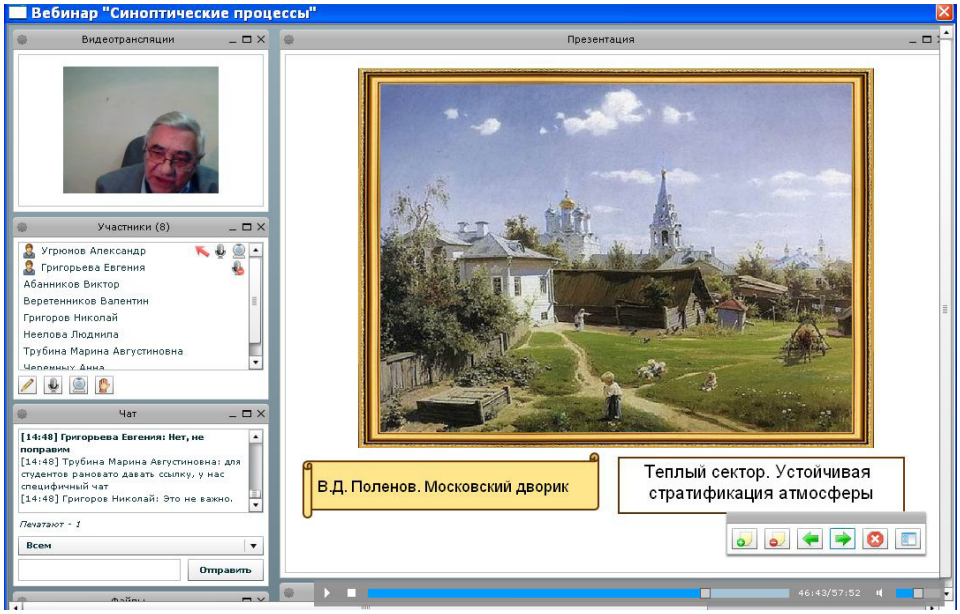


Рис. 5. Фрагмент вебинара А.И. Угрюмова на тему «Синоптические процессы умеренных широт»

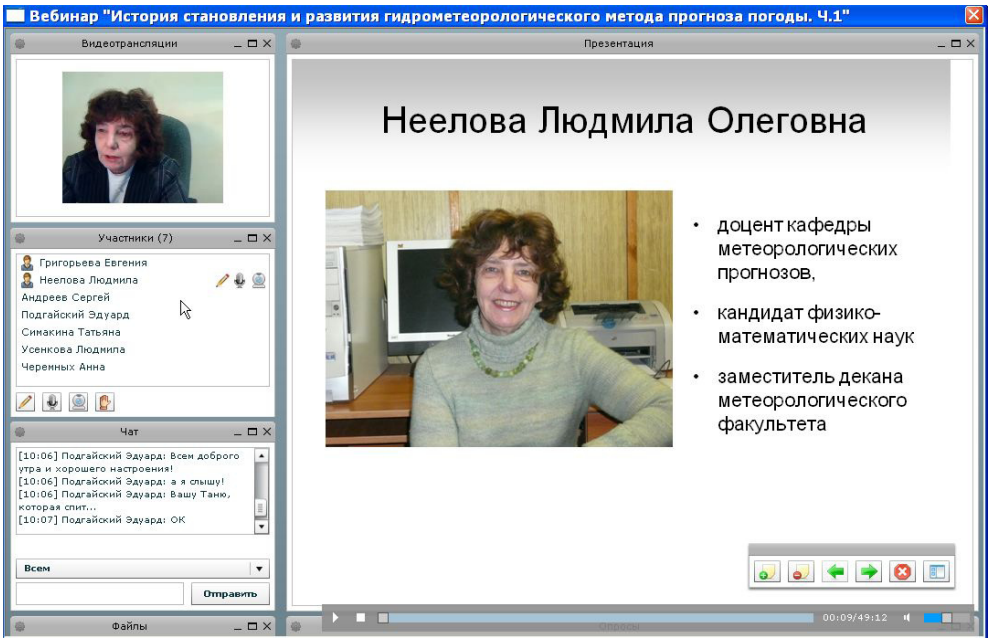


Рис. 6. Фрагмент вебинара Л.О. Нееловой на тему «История становления и развития гидродинамического метода прогноза погоды»

Результаты проведенной работы

Практическая реализация пилотных вебинаров была проведена для студентов заочной формы обучения разных курсов. Согласно плану внедрения, расписание вебинаров размещалось на сайте ФЗО РГГМУ, была организована в автоматическом режиме система оповещения слушателей по электронной почте и в автоматизированном режиме для зарегистрированных слушателей. В ходе работы над проектом было проведено семь вебинаров по направлению «прикладная гидрометеорология», архив их записей представлен в открытом доступе на сайте ФЗО (http://fzo.rshu.ru/content/online).

Работа коллектива ПТМ проходила в сотрудничестве и показала эффективность такой формы создания учебных образовательных материалов. Были проведены аналитические исследования по теории, технологии и практическому использованию вебинаров; систематизированы материалы и передовой опыт, подготовлена база знаний, включающая методики, примеры эффективных учебных on-line занятий, сформированы информационные ресурсы по проведению вебинаров. Для группы технологов совместная работа позволила более глубоко понять методику преподавания дисциплин на примере разработки функционального сценария и создать методические рекомендации и технологию для самостоятельной работы преподавателей по подготовке вебинаров. Результат деятельности ПТМ для преподавателей заключался не только в создании авторских вебинаров, но и в разработке индивидуальных траекторий профессионального развития технологий электронного обучения.

Взаимодействие в режиме консультаций и электронного общения показало высокую эффективность коллективной работы ПТМ, а важным показателем работы ПТМ в данном проекте стало повышение мотивации и информационной культуры преподавателей для проведения занятий в СДО. Был отработан механизм проведения вебинаров, который представляет систему распространения информации, технической поддержки, модерирования и т.п. Проведенная апробация показала, с одной стороны, высокую эффективность веб-технологии, а с другой – высокую трудоемкость подготовки вебинара.

Для оценки эффективности работы было проведено исследование обратной связи (рефлексии) участников проекта по результатам проведения вебинаров. В результате опроса было получено 16 отзывов, в том числе 2 отзыва от сторонних организаций. В целом анализ проведенного опроса показал следующее:

- одобрена методика подготовки и проведения вебинаров, необходимость внедрения веб-технологий не вызывала сомнения;
- методическое обеспечение всех вебинаров было на высоком уровне, использовались качественные визуальные материалы;
- важным фактором повышения взаимной квалификации является обмен опытом, знаниями по предметным областям и веб-технологиям;
- отмечена эффективность внедрения данной веб-технологии как средства взаимного повышения квалификации преподавателей и технологов, а также как инструмент для создания качественных ЭОР.

В качестве дискуссионных вопросов рассматривались:

- организация и выбор удобного времени для проведения вебинаров;
- периодическое присутствие изображения лектора на экране;
- проведение завершающего тестирования.

Следует отметить, что несмотря на то что лекторы имели разный уровень владения ИКТ (от начального до профессионального), в целом работа участников проекта была на высоком профессиональном уровне и это определило дальнейшие перспективы внедрения веб-технологий в учебный процесс для создания базы СДО в РГГМУ.

Для эффективного внедрения вебинаров в учебный процесс планируется развивать систему дистанционного обучения Moodle, которая уже используется в РГГМУ. Существующие в Moodle инструменты позволяют вводить в учебный процесс интерактивные ЭОР и дают возможность преподавателям контролировать процесс обучения и оказывать методическую и консультационную помощь студентам при подготовке к занятиям [1, 5, 20]. В целом полученные результаты показали эффективность внедрения вебинаров, особенно для заочного обучения, и реальные перспективы подготовки профессиональных кадров в вузах для повышения качества образования, а также для сотрудничества с вузами УМО и институтом повышения квалификации руководящих работников и специалистов Росгидромета.

Следует также выделить социально-психологическую проблему, связанную с недостаточной информационной культурой у преподавателей, отсутствием у них мотивации, педагогического образования для подготовки ЭОР и т.п. Решение этой проблемы возможно в рамках компетенций ректора и Ученого Совета РГГМУ с помощью грантовой поддержки инновационной деятельности преподавателей на конкурсной основе (выделение специального фонда). Проблема учета учебной нагрузки преподавателей, т.е. нормирование трудозатрат преподавателей, является одним из ключевых вопросов внедрения веб-технологий и требует решения на административном уровне.

Экономическую и коммерческую эффективность внедрения СДО в РГГМУ следует оценивать на примере вузов с некоммерческим партнерством, которые за счет собственных или привлеченных ресурсов внедряют веб-технологии в учебный процесс, и в дальнейшем они должны быть заинтересованы в возврате инвестиций.

Бюджетный эффект для вуза будет определяться снижением затрат на размножение учебно-методических комплектов для студентов заочной формы обучения и снижением почтовых расходов на пересылку этих материалов студентов. К сожалению, снижение этих затратных статей компенсируется ростом затрат на обучение преподавателей по освоению веб-технологий и на их стимулирование по созданию учебных контентов в СДО. В большей степени при реализации подобного рода проектов целесообразно говорить о таких эффектах, как педагогическая и социальная эффективность.

Заключение

Технология вебинаров – новый метод обучения, отличный от привычных форм образования. Однако этот метод не является заменой очного и заочного обучения, а предполагает внедрение инновационных средств, методов, организационных форм обучения, иную (виртуальную) форму взаимодействия участников образовательного процесса и направлен на повышение качества образования, на развитие информационной культуры как преподавателей, так и студентов.

Для модернизации учебного процесса ФЗО РГГМУ был разработан учебный план по проведению межсессионных on-line занятий, который соответствует графику эк-

заменационных сессий ФЗО, а также ряд мероприятий и предложений по внедрению СДО на ФЗО РГГМУ. Для решения задач повышения квалификации преподавателей были разработаны три учебных плана: *«Педагогическое проектирование учебного web-занятия», «Технологии подготовки и использования визуальных учебных материалов для вебинара», «Вебинары - виртуальные классы»*.

Апробация результатов для распространения опыта проводилась в виде научных докладов на сессии УМО по образованию в области гидрометеорологии, на совещании ИПК Росгидромета с представителями учреждений, ведущих подготовку профессиональных кадров по гидрометеорологии в России, а также на международных конференциях и семинарах ПТМ.

На основе результатов проведенных исследований были выработаны научно-методические и практические рекомендации по проведению вебинаров и подготовлено учебное пособие *«Создание электронных учебных материалов на основе технологии вебинаров»* и монография *«Формирование научно-методического обеспечения использования веб-технологий при подготовке профессиональных кадров»*.

Авторы выражают особую благодарность лекторам и сотрудникам информационно-вычислительного центра за активное участие в подготовке и проведении вебинаров.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» в 2011 г. по проекту № 3.1.1/14272 «Формирование научно-методического обеспечения использования веб-технологий при подготовке профессиональных кадров».

Литература

1. *Анисимов А.М.* Работа в системе дистанционного обучения Moodle / Учеб. пособие, изд. 2-е. – Харьков: ХНАГХ, 2009. – 292 с.
2. *Архангельский Г.А.* Работа 2.0: прорыв к свободному времени. –М.: Изд-во «Манн, Иванов и Фербер». – 2010. – 192 с.
3. Базы знаний по дистанционному обучению: статьи, ссылки по информационным ресурсам, записи вебинаров [Электронный ресурс]. – М.: Сообщество e–Learning PRO, 2011. Режим доступа: http://elearningpro.ru, свободный. – Загл. с экрана.
4. *Беспалько В.П.* Педагогика и прогрессивные технологии обучения. – М.: Ин-т проф. обр. РАО, 1995. – 336 с.
5. *Гаевская Е.Г.* Система дистанционного обучения Moodle: методические указания для практических занятий / Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. – 26 с.
6. *Григорьева Е.Г., Трубина М.А., Черемных А.В.* Проблемы и решения компьютерного тестирования // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 14, с. 187-198.
7. *Гущин О.П.* Необходимый компонент системы проведения удаленных занятий – вебинар [Электронный ресурс] / Информационные ресурсы и технологии в образовании // Мат. XVII Всерос. науч.-метод. конф. «Телематика'2010» / О.П. Гущин. – М., 2010. Режим доступа: http://tm.ifmo.ru/tm2010/db/doc/get_thes.php?id=134
8. *Заседатель В.С.* Организация дистанционного образовательного процесса в Томском государственном университете на основе Adobe Connect [Электронный ресурс] // Информационные ресурсы и технологии в образовании. Мат. XVIII Всерос. науч.-метод. конф. «Телематика'2011». – Томск: Томский гос. ун-т, 2011. Режим доступа: http://tm.ifmo.ru/tm2011/db/doc/get_thes.php?id=472
9. *Ильчук П.А.* Использование веб-семинаров в дистанционном обучении [Электронный ресурс]: Мат. XVIII Всерос. науч.–метод. конф. «Телематика'2011» / П.А. Ильчук, К.В. Козлова, М.Р. Меламуд. – М., 2011. Режим доступа: http://tm.ifmo.ru/tm2011/db/doc/get_thes.php?id=341
10. Инновации в высшей технической школе России // Современные технологии в инженерном образовании. Вып. 2. – М.: МАДИ (ГТУ), 2002. – 503 с.

11. Интернет-обучение: технологии педагогического дизайна. Под ред. М.В. Моисеевой. – М.: Изд. дом «Камерон», 2004. – 224 с.
12. Интернет-тренажёры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://i-exam.ru
13. Использование Системы дистанционного обучения (СДО) Росгидромета [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ipk.meteorf.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=215&Itemid=66, свободный. – Загл. с экрана.
14. *Морозова Е.Я.* Дистанционное обучение студентов филиалов СПбГУП в режиме видеоконференции: организационные моменты // Мат. III межвуз. науч.-практ. конф. – СПб.: Изд. СПУ профсоюзов, 2010, с. 53-55.
15. *Никитаев В.В.* Деятельностный подход к содержанию высшего образования // Высшее образование в России, № 1, 1997, с. 34-44.
16. Приказ Госкомвуза РФ от 17 июня 1996 г. № 1062 «О создании центра информационно–аналитического обеспечения системы дистанционного образования» // Бюллетень Государственного комитета Российской Федерации по высшему образованию, № 8 – М., 1996.
17. Приказ Минобразования РФ от 24 августа 2000 г. № 2489 «О создании Совета по дистанционному обучению в сфере профессионального образования Министерства образования Российской Федерации» // Бюллетень Министерства образования Российской Федерации, № 2 – М., 2001.
18. Приказ Минобразования РФ от 18 декабря 2002 г. № 4452 «Об утверждении Методики применения дистанционных образовательных технологий (дистанционного обучения) в образовательных учреждениях высшего, среднего и дополнительного профессионального образования Российской Федерации» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, № 7 – М., 2003.
19. Проект ФГОС ВПО по прикладной гидрометеорологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://edu.ru, свободный. – Загл. с экрана.
20. Система управления обучения MOODLE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://moodle.combat–meteo.net, свободный. – Загл. с экрана.
21. *Стародубцев В.А.* Практические рекомендации преподавателям по подготовке и проведению вебинаров [Электронный ресурс]. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2009. – 88 с. Режим доступа: http://portal.tpu.ru/ido–tpu/teacher/documents/RECOM_WEBINAR.pdf
22. *Стародубцев В.А.* Создание и применение электронного конспекта лекций: учебно–методическое пособие. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2009. – 88 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/STARODUBTSEV_V_A/Tab4/SozdanieEKL.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
23. Стратегический план развития РГГМУ на 2008-2013 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rshu.ru/university/history/plankarlina, свободный. – Загл. с экрана.
24. *Тихонов А.Н., Иванников А.Д.* Информатизация российского образования и общества в целом // Международное сотрудничество, № 4, 1997, с. 1-3.
25. *Трубина М.А.* Мультимедийные образовательные технологии: специфика подготовки гидрометеорологов / М.А. Трубина, Е.Г. Григорьева, А.В. Черемных, Э.В. Подгайский // Дистанционное образование в Высшем профессиональном образовании: опыт, проблемы и перспективы развития. Мат. III Межвузовской науч.–практич. конф., 9 июня 2010 г. – СПб.: СПбГУП, 2010, с. 48-50.
26. *Трубина М.А.* Перспективы использования веб-технологий для повышения качества образования при подготовке профессиональных кадров в прикладной гидрометеорологии / М.А. Трубина, В.М. Сакович, В.Н. Абанников, Е.Г. Григорьева, Э.В. Подгайский // Информационная среда вуза XXI века: Мат. V Междунар. науч.-практ. конф. (26–30 сентября 2011 года). – Петрозаводск, 2011, с. 191-194.
27. *Трубина М.А.* Специфика использования веб-технологий (вебинаров) в учебном процессе: специальность «прикладная гидрометеорология» / М.А. Трубина, Е.Г. Григорьева, Э.В. Подгайский, В.М. Сакович, А.В. Черемных // Интернет и современное общество: Сборник тезисов докладов. Мат. XIV Всерос. объединенной конф. «Интернет и современное общество». – СПб., 12-14 октября 2011 г., – с. 84-87.
28. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://meteorf.ru/default.aspx, свободный. – Загл. с экрана.
29. *Хуторской А.В.* Дидактическая эвристика. Теория и технология креативного обучения. – М.: МГУ, 2003. – 416 с.
30. *Чошанов М.А.* Гибкая технология проблемно-модульного обучения. – М.: Народное образование, 1996. – 152 с.

В.В. Денисов, М.В. Светлова

ПРИМЕНЕНИЕ SWOT-АНАЛИЗА В ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

V.V. Denisov, M.V. Svetlova

APPLICATION OF SWOT- SWOT-ANALYSIS IN RESEARCH OF ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL POSITION OF THE REGION: THE MURMANSK REGION

С учетом новой трактовки термина «эколого-географическое положение» как комплекса гуманитарно-экологических характеристик в рамках концепции устойчивого развития в статье обосновывается применение метода SWOT-анализа. Рассмотрены возможности реализации имеющегося потенциала региона, выявлены факторы, которые способствуют или препятствуют его устойчивому развитию. В качестве SWOT-факторов используются географическое положение, природно-ресурсный, экономический и человеческий потенциал, инфраструктура, экологическая ситуация, а также включенность региона в глобальную систему международных взаимодействий. Оценена макроэкономическая ситуация, решения и действия федеральных и местных органов государственной власти, оказывающих влияние на развитие региона. Применение метода показано на примере Мурманской области – важнейшего региона стратегического развития Европейского Севера России - в сравнении с ее ближайшими соседями Карелией и Архангельской областью.

Ключевые слова: эколого-географическое положение, SWOT-анализ, SWOT-факторы, устойчивое развитие.

In this article the application of SWOT-analysis method is substantiated according to the new interpretation of the term «ecological and geographical position» as complex of the humanitarian and ecological attributes within limits of the concept of sustainable development. Potentials of the region are examined. The factors, which impede or promote sustainable development of the region, are identified. Geographical position, natural, economic and human potential, infrastructure, ecological situation and participation of the region in global system of international cooperation use as SWOT-factors. Macroeconomic situation, decisions and actions of federal and local executive authorities, which define region development, are estimated. Application of this method makes an example of the Murmansk Region – the most important region of the strategic development of the European North of Russia.

Key words: environmental position, SWOT-analysis, SWOT-factors, sustainable development.

Согласно определению, предложенному нами в статье [4], эколого-географическое положение – это положение географического объекта, сохраняющего здоровую среду для жизнедеятельности в рамках концепции устойчивого развития, по отношению к

другим географическим объектам. Такой подход отвечает предмету и целям экологической географии, занимающейся изучением географической среды с гуманитарно-экологической точки зрения, рассматривающей природно-хозяйственные геосистемы (антропогенные геосистемы различного ранга) с позиций концепции устойчивого развития, т.е. в интересах обеспечения рационального природопользования и сохранения среды жизнедеятельности человека [3, 6].

Важным этапом этой оценки является оценка стратегических перспектив развития региона, включающая определение возможностей реализации его потенциала и выявление факторов, которые способствуют или препятствуют его устойчивому развитию.

Одним из наиболее распространенных, признанных и одновременно простых методов оценки внешней и внутренней среды объекта является SWOT-анализ. Название метода произошло от начальных букв английских слов: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы). Внутреннюю среду объекта описывают слабые и сильные стороны, а внешнюю по отношению к объекту среду – возможности и угрозы. Акроним SWOT (четыре категории факторов) визуально можно представить в виде таблицы (SWOT-матрицы) (табл. 1).

Таблица 1.

SWOT-матрица

Внутренняя среда	**Сильные стороны**	**Слабые стороны**
	Strengths (свойства объекта, дающие преимущества перед другими).	Weaknesses (свойства, ослабляющие объект).
Внешняя среда	**Возможности**	**Угрозы**
	Opportunities (внешние вероятные факторы, дающие дополнительные возможности для достижения цели).	Threats (внешние вероятные факторы, которые могут осложнить достижение цели).

Первоначально эта технология была предложена для разработки стратегии поведения предприятия. Но SWOT-анализ в общем виде можно применять к различным объектам, в частности, странам и регионам, для построения стратегий в самых различных областях деятельности.

Основные этапы технологии проведения SWOT-анализа на уровне региона включают [2, 11]:

1. Выявление факторов внутренней среды (разделение на сильные и слабые стороны).
2. Оценку (ранжирование) значимости факторов.
3. Выявление факторов внешней среды (разделение на факторы, несущие возможности и несущие угрозы).
4. Оценку (ранжирование) факторов по значимости.
5. Отсев малозначимых и маловероятных факторов, как не имеющих практической значимости.
6. Формирование SWOT-матрицы (заполнение граф сильных и слабых сторон, возможностей и угроз).
7. Формирование перекрестной SWOT-матрицы (табл. 2), попарное сравнение каждого из факторов с выявлением, насколько сильные стороны региона спо-

собны реализовать открывающиеся перед ним возможности; в какой степени сильные стороны региона позволяют нейтрализовать угрозы внешней среды; какие возможности, предоставляемые внешней средой, можно использовать для того, чтобы слабости региона превратить в его сильные стороны.

Таблица 2.

Перекрестная матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны (S)	**Слабые стороны (W)**
Возможности (O)	S-O	W-O
Угрозы (T)	S-T	W-T

Рассмотрим результаты SWOT-анализа на примере Мурманской области – важнейшего региона стратегического развития Европейского Севера России - в сравнении с ее российскими соседями – Архангельской областью и Республикой Карелия. С возможностями SWOT-анализа для разработки стратегии социально-экономического развития Мурманской области до 2025 г. можно ознакомиться в публикациях [7, 9, 10].

Мурманская область (территория – 144,9 тыс. км2, численность населения на 1 января 2011 г. – 794,8 тыс. человек [8]) расположена на крайнем северо-западе России, почти полностью за Полярным кругом, в пределах двух физико-географических зон – тундры и северной тайги. На севере омывается Баренцевым морем, на юге и юго-востоке – Белым. Мурманская область граничит с развитыми европейскими странами – Норвегией и Финляндией. Российские соседи Мурманской области - Архангельская область (по морю) и Республика Карелия.

На первом этапе проведения SWOT-анализа был выделен ряд основных факторов внутренней и внешней среды для Мурманской области, что позволило сформировать SWOT-таблицу (табл. 3).

Таблица 3.

Таблица SWOT-анализа для Мурманской области

Факторы внутренней среды	**Сильные стороны**	**Слабые стороны**
Географическое положение (экономико-географическое, транспортно-географическое положение, геополитический фактор).	Выгодное географическое положение: приморское, приграничное положение. Открытый выход в Мировой океан, круглогодичная навигация. Начало Северного морского пути. Соседство со странами Северной Европы – Норвегией и Финляндией. Относительная близость к Санкт-Петербургу.	Сезонные ограничения навигации в Белом море.
Климат.	Смягчающее влияние на климат теплого атлантического течения.	Расположение области за Полярным кругом (наличие полярного дня и полярной ночи). Изменчивость климатических показателей. Высокая магнитная активность.

Продолжение таблицы 3

Природно-ресурсный потенциал.	Уникальный минерально-сырьевой потенциал территории. Более 60 крупных месторождений минерального сырья (руды никеля, меди, фосфора, железа, платины, титана, алюминия, циркония и других редких металлов, а также слюды и строительные материалы); более 100 месторождений твердых полезных ископаемых составляют перспективную сырьевую базу: платинометалльные, кианитовые, редкометалльные, золоторудные и др. Большие потенциалы месторождений газа и нефти на шельфе Баренцева моря. Крупнейшие биологические ресурсы акваторий Баренцева и, в меньшей степени, Белого морей. Лесные ресурсы: площадь земель лесного фонда – 9 455,5 тыс. га (65,3 % территории области), из них 35,5 % площади занимают эксплуатационные леса (3 356,7 тыс. га).	Отсутствие комплексности в управлении минеральными и биологическими ресурсами, доминирование ведомственности. Слабое развитие воспроизводства биологических ресурсов.
Экономический потенциал.	Высокий уровень индустриального развития, представленный добывающим, металлургическим, энергетическим, транспортным и рыбным комплексами. Экспортная ориентация ведущих отраслей экономики, выпуск конкурентоспособной продукции. Наличие агропромышленного сектора, частично обеспечивающего потребности населения.	Старение и износ основных производственных фондов.
Рекреационный потенциал.	Уникальные памятники природы и культуры (озеро Могильное, Успенская церковь в Варзуге, наскальные рисунки Канозера, Полярно-альпийский ботанический сад и др.). Уникальные ландшафты. Российская Лапландия. Аквакультура. ООПТ, общая площадь которых, включая заповедники, составляет 1420 тыс. га (9,8 % территории области).	Недостаточное использование рекреационного потенциала.
Инфраструктура (социальная, транспортная, инженерная, инфраструктура экономики, информационная).	Достаточно развитая инфраструктура (дорожная, социальная, энергетическая, информационная). Морской транспорт общенационального и глобального значения, включая атомный ледокольный флот. Крупный глубоководный морской порт. Избыточный энергобаланс Кольской энергосистемы.	Старение и износ основных производственных и непроизводственных фондов, объектов коммунальной инфраструктуры и жилого фонда.

Продолжение таблицы 3

Экологическая ситуация.	Часть территории не затронута хозяйственным освоением (восточная часть области). Наличие заповедных территорий (Лапландский заповедник, Кандалакшский заповедник, заповедник Пасвик) общей площадью 364,63 тыс. га. Внедрение экологически чистых технологий (по обогащению руды путем брикетирования; по применению автогенной плавки в плавильном цехе, позволяющей в процессе плавки расслаивать шлак, обеднять его; по доведению концентрации сернистого газа до уровня, позволяющего утилизировать его в серную кислоту на предприятиях горнометаллургического комплекса (ГМК) и др.).	Наличие территорий экологического неблагополучия вокруг предприятий ГМК, сформированных в 70 – 90-е годы. Проблемы выбросов в атмосферу, сбросов сточных вод, утилизации отходов производства и потребления, захоронения радиоактивных отходов.
Человеческий потенциал. Уровень урбанизации.	Высокий образовательный и квалификационный уровень трудовых кадров, мощный научный потенциал. 93 % жителей проживает в городах, 40 % жителей области проживает в Мурманске.	Сокращение населения (высокая смертность, миграционный отток), высокий уровень заболеваемости.
Факторы внешней среды	**Возможности**	**Угрозы**
Степень включенности региона в глобальную систему международных товарных, финансовых, научных, культурных и других отношений.	Усиление роли и значения региона в мире в связи со значительными запасами шельфа Арктических морей и транзитным транспортным положением. Международное сотрудничество в различных областях деятельности, в том числе в рамках Баренцева Евро-Арктического Региона. Внешнеторговые отношения с более чем 80-ю странами Европы, Азии и Америки.	Усиление зависимости экономики региона от конъюнктуры мирового рынка.
Макроэкономическая ситуация в РФ.	Стабильный рост экономики. Развитие рыночных институтов.	Усиление зависимости экономики от сырьевых отраслей, нарастание технологического отставания.
Решения и действия федеральных органов государственной власти, оказывающих влияние на развитие региона, а также компаний сырьевого сектора с государственным участием.	Принятые на федеральном уровне решения по перспективам реализации крупномасштабных проектов, связанных с освоением Штокмановского газоконденсатного месторождения и комплексным развитием Мурманского транспортного узла. Реализация федеральных целевых программ, федеральных отраслевых стратегий и программ (ФЦП «Повышение эффективности использования и развитие ресурсного потенциала рыбохозяйственного комплекса», ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности», ФЦП «Мировой океан», ФЦП «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности», ФЦП «Развитие транспортной системы России», ФЦП «Жилище» и др.).	Возникшие новые условия для принятия инвестиционных решений компаниями сырьевого сектора, связанные с неопределенностью энергетических рынков в настоящий момент и общемировыми политическими акцентами в пользу «безуглеродной» энергетики. Недостаток государственных дотаций и инвестиций.

Факторы были предварительно ранжированы по степени значимости (силе фактора) по 5-балльной шкале (5 – очень высокая значимость, 4 – высокая значимость, 3 – средняя значимость, 2 – малая значимость, 1 - незначительность). Результаты ранжирования интегрированы в сводную таблицу (табл. 4).

Таблица 4.

Основные внешние и внутренние факторы и степень их значимости для устойчивого развития Мурманской области

Группы и наименование факторов		**Оценка значимости фактора для региона**	
		S	**W**
Внутренние факторы	Географическое положение.	5	1
	Климат.	1	3
	Природно-ресурсный потенциал.	5	2
	Рекреационный потенциал.	5	2
	Экологическая ситуация.	4	3
	Человеческий потенциал.	5	3
	Уровень урбанизации.	5	4
	Инфраструктура (социальная, транспортная, инженерная, инфраструктура экономики, информационная).	5	3
	Экономический потенциал:		
	Горнопромышленный и металлургический комплекс.	5	3
	Транспортный комплекс.	5	3
	Энергетический комплекс.	5	3
	Рыбопромышленный комплекс.	4	2
Группы и наименование факторов		**Оценка значимости фактора для региона**	
		O	**T**
Внешние факторы	Степень включенности региона в глобальную систему международных товарных, финансовых, научных, культурных и других отношений.	5	3
	Макроэкономическая ситуация в РФ.	5	3
	Решения и действия федеральных органов государственной власти, оказывающих влияние на развитие региона, а также компаний сырьевого сектора с государственным участием.	5	4

На заключительном этапе было произведено сопоставление сильных (преимуществ) и слабых (недостатков, проблем) внутренних факторов с благоприятными возможностями и реальными и потенциальными угрозами внешней по отношению к региону среды. Поясним вышеприведенные таблицы.

В целом Мурманскую область отличает выгодное географическое приморское, приграничное, стратегически значимое положение. Область является северными морскими воротами России. Мурманский морской торговый порт - единственный незамерзающий (вследствие влияния теплого морского течения) глубоководный порт Европейской части России (максимальная посадка принимаемого судна – 16 м, мощности по перевалке грузов – 9 млн. т), обеспечивающий круглогодичную навигацию и прямой выход в Мировой океан на мировые торговые пути. Отсюда берет начало Северный морской путь - транспортная магистраль, обеспечивающая доступ к природным ресурсам Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, а также транзит из Атлантики в Тихий океан. Здесь базируется атомный ледокольный флот, обеспечивающий функционирование маршрута. Кроме того, на баренцевоморском побережье области размещаются важнейшие стратегические объекты - базы Северного флота РФ. Доступность северного морского пространства является стратегически значимым для России фактором контроля над пространством Арктики.

В сравнении с Мурманской областью морские порты Архангельской области и Карелии являются замерзающими, что накладывает сезонные ограничения на навигацию. Архангельский морской торговый порт не такой глубоководный и мощный, как Мурманский (максимальная посадка принимаемого судна – 9,2 м, мощности по перевалке грузов – 4,5 млн. т). В период, когда море замерзает, поддержание судоходства в Архангельском порту возможно только с помощью ледоколов. Беломорский порт (г. Беломорск, Карелия) также замерзает, ограничивая навигацию, и не является крупным.

Фактор приграничного положения Мурманской области предполагает более тесные контакты во всех сферах, включая непосредственные контакты между людьми. Зарубежные соседи Мурманской области – высокоразвитые страны: Финляндия – член ЕС и Норвегия – член НАТО. Протяженность границы с Финляндией – 360 км, с Норвегией – 196 км. Помимо сухопутной границы Мурманскую область с Норвегией связывает морское пространство Баренцева моря (а значит, общие интересы в области морепользования), официально разграниченное в 2011 г. на международных правах.

Карелия, как и Мурманская область, также граничит с Финляндией (вытянута вдоль финской границы), но международные приграничные взаимодействия Карелии и Финляндии не затрагивают стратегически важные вопросы диверсифицированного морепользования в Баренцевом море. Архангельская область вообще не имеет зарубежных соседей и ориентирована на внутренние стратегические проблемы РФ (военное судостроение, морское машиностроение и т.д.).

Большое значение для устойчивого развития Мурманской области имеет природно-ресурсный потенциал. Кольский полуостров и прилегающий шельф – это район уникальных морских биологических, топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов, значительная часть которых относится к стратегическим ресурсам страны. Биологические ресурсы представлены наиболее ценными рыбопромысловыми видами - треской, пикшей, палтусом, сельдью, атлантическим лососем. Минерально-сырьевые ресурсы - крупными рудными месторождениями, наибольшую ценность из которых имеют медно-никелевые, железные, апатито-нефелиновые руды и руды редких металлов, а также месторождениями слюд и других нерудных минералов (вермикулита, флогопита, мусковита, граната, амазонита и др.).

На шельфе Баренцева моря разведаны нефтегазовые ресурсы, среди которых уникальное Штокмановское газоконденсатное месторождение, имеющее стратегическое значение в мировом масштабе. Разведанные запасы Штокмановского ГКМ оцениваются не менее чем в 3,7 трлн. м3 газа и более 31 млн. т газового конденсата [по данным ОАО «Газпром»]. Оценки общих потенциальных ресурсов нефти на шельфе составляют 200-300 млрд. т.

Энергетические ресурсы шельфовой зоны станут играть ведущую роль в развитии экономики области в ближайшей перспективе (с 2016 г.).

На сегодняшний день основу экономики Мурманской области составляют отрасли сырьевой направленности: горнодобывающая, горно-химическая, металлургическая, рыбодобывающая и рыбообрабатывающая.

Одно из стратегических преимуществ экономики области – высокий уровень развития горно-металлургического комплекса (ГМК). Область полностью обеспечивает потребности России в фосфатных рудах, флогопите, вермикулите, ниобии, тантале, редкоземельных металлах, бадделеите; производит 100 % апатитового и 10 % железорудного концентратов, 7 % рафинированной меди, 44 % никеля, 35 % керамического сырья [10]. Из произведенной продукции все концентраты рудного сырья, первичные металлы поставляются за пределы региона.

В отличие от соседей в значительной мере облик экономики Мурманской области определяет также рыбная промышленность, которая производит 20 % всей пищевой рыбной продукции в России [10]. Из произведенной продукции свыше 80 % рыбы и морепродуктов поставляется за пределы региона.

Еще одним существенным преимуществом области является наличие развитой энергетической и транспортной системы.

Мурманская область относится к числу наиболее энерговооруженных территорий России. Здесь расположен стратегически важный объект - Кольская АЭС (г. Полярные Зори). Региональная энергосистема является энергоизбыточной, полностью обеспечивает свои потребности в электроэнергии и часть электроэнергии передает в Карелию.

Ключевым элементом всей транспортной системы Севера России являются Мурманский транспортный узел и морской транспорт, включая атомный ледокольный флот.

Область обладает значительными рекреационными ресурсами (уникальные ландшафты Хибин, морские побережья и побережья крупных и больших озер и водохранилищ, культурно-исторические достопримечательности, бальнеологические ресурсы (лечебные грязи месторождения «Палкина Губа» и др.), что способствует развитию на территории области перспективных отраслей экономики - туризма и рекреации.

Преимуществом Мурманской области является самый высокий в РФ уровень урбанизации территории (93 %). Для городов характерна высокая инфраструктурная обеспеченность (развитая дорожная, инженерная, телекоммуникационная сети), доступность медицинской помощи (наличие медицинских центров, поликлиник, больниц), наличие вузов и специальных учебных заведений, детских музыкальных, художественных, спортивных школ, наличие культурных учреждений и др., т.е. цивилизованность жизни и, как следствие, цивилизованность населения. Уровень урбанизации Архангельской области и Карелии существенно меньше (75,1 и 81,1 % соответственно).

Мурманскую область также отличает хорошая инфраструктурная обеспеченность территории в целом. Достаточно развита железнодорожная сеть, которая охватывает все крупные населенные пункты области, развита сеть автомобильных дорог, электропроводов, теплопроводов, водопроводных и канализационных сетей. Обеспеченность жильем и коммунальными услугами (2007 г.) в Мурманской области – 97,4 % [7], в Карелии – 66,3 %, в Архангельской области – 57,1 % [7], т.е. обеспеченность жильем, водоснабжением, газоснабжением и отоплением в этих субъектах РФ заметно меньше.

На сегодняшний день область характеризуется мощным научным потенциалом. Инновационное развитие экономики Мурманской области, ее горнопромышленного, топливно-энергетического, транспортного, рыбопромышленного и других комплексов в значительной мере основано на научных разработках академических институтов Кольского научного центра РАН (КНЦ РАН), Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО). Наличие на Кольском полуострове мощного потенциала фундаментальной и прикладной науки как базового компонента национальной инновационной системы было и остается конкурентным преимуществом региона.

Ключевым фактором развития области и конкурентным преимуществом является человеческий капитал. По индексу развития человеческого потенциала, комплексному показателю, описывающему качественные характеристики человеческого потенциала (ВРП на душу населения, индекс ожидаемой продолжительности жизни, уровень образования), Мурманская область занимает 35 место среди других регионов России (ИРЧП 0,797) и срединное положение между соседними российскими регионами – Архангельской областью и Республикой Карелией [5]. Карелия занимает 51 место (0,784), Архангельская область – 21 место (0,808) среди других регионов РФ, но высокий показатель ИРЧП Архангельской области объясняется большей величиной валового регионального продукта на душу населения, особенно в Ненецком автономном округе, макроэкономические показатели которого в статистических данных учитываются в составе Архангельской области.

Таким образом, Мурманская область на сегодняшний день находится в фокусе национальных интересов России в Арктике, которые затрагивают весь Кольский полуостров и прилегающий шельф как источник нынешних и будущих ресурсов и локомотив национально-экономического развития страны, сбережение уникальных арктических экосистем и, одновременно, сохранение Арктики как зоны мира, стабильности, безопасности и сотрудничества [1].

Благоприятные возможности для устойчивого развития региона создают принятые на федеральном уровне решения по перспективам реализации крупномасштабных проектов, связанных с освоением Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ) и комплексным развитием Мурманского транспортного узла.

Проектом ШГКМ предусмотрена подводная добыча природного газа и строительство завода на побережье Кольского полуострова (пос. Териберка) для производства сжиженного газа с последующими поставками его в страны Западной Европы, США и страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Целью проекта развития Мурманского транспортного узла (МТУ) является использование потенциала МТУ для обслуживания грузопотоков Северного морского

пути, международного транспортного коридора «Север – Юг», а также грузов углеводородного сырья, связанных с разработкой и эксплуатацией шельфовых месторождений. В рамках проекта планируется строительство новых портовых перегрузочных комплексов, морского контейнерного и логистического терминалов, развитие сети подъездных железнодорожных и автомобильных дорог, а также других объектов.

Реализация стратегических инвестиционных мега-проектов по комплексному освоению ШГКМ, комплексному развитию МТУ, наряду с проектами реконструкции действующих и строительства новых предприятий горнопромышленного комплекса, может качественно преобразить социально-экономическое положение области, повысить уровень жизни ее населения и обеспечить динамизм развития региона в перспективе, в частности, создания в области 10 тысяч новых рабочих мест. Сырьевой комплекс станет основой модернизации экономики Мурманского региона. Дело в том, что освоение морских нефтегазовых месторождений в сложных ледовых условиях – это высокотехнологичный процесс, который обусловливает инновационное развитие отраслей и видов деятельности, занятых созданием средств разведки, поисков, добычи, транспортировки и переработки нефти и газа. Модернизация горнопромышленного сектора экономики сопряжена с внедрением высокотехнологичного оборудования и необходимостью принятия новых инновационных технических и высокотехнологических решений в области добычи и переработки сырья (комплексности, глубины переработки и т.п.).

Хотя следует учитывать возникшие новые условия для принятия инвестиционных решений компаниями сырьевого сектора, связанные с неопределенностью энергетических рынков в настоящий момент и общемировыми политическими акцентами в пользу «безуглеродной» энергетики, но все же ресурсный компонент, с цивилизованным отношением к природным экосистемам, в течение ближайших 30-50 лет останется ведущим в Европейском Заполярье, что является безусловным стратегическим преимуществом.

Очень существенным благоприятным внешним фактором для Мурманской области является двустороннее и многостороннее ее взаимодействие с северными европейскими соседями в рамках Баренцева Евро-Арктического сотрудничества, осуществляемое практически во всех областях экономики, торговли, науки и техники, окружающей среды, инфраструктуры, образования, культурных обменов и туризма, а также в сфере реализации проектов, направленных на улучшение положения коренного населения Севера. Непосредственное соседство с высокоразвитыми странами Северной Европы (Норвегией и Финляндией) ориентирует Мурманскую область на высокие стандарты качества жизни населения, достигнутые западными соседям. Благодаря такому соседству происходит объективная диссимиляция инновационного, экологически дружественного технологического опыта, например, в области освоения ресурсов шельфа и перехода на европейские стандарты в области щадящего морского промысла (использование крупноячеистых сетей для лова рыбы в целях сохранения молоди, сохранение биоразнообразия, организация особо охраняемых зон и т.д.). Ориентация на мировые стандарты в области охраны окружающей среды способствует экологической модернизации производства и внедрению инновационных технологий на предприятиях горно-металлургического комплекса (по утилизации

диоксида серы, по способу подготовки сырья к плавке – брикетированию и др.). Так, в рамках модернизации плавильного цеха в пос. Никель Кольская ГМК запустила линию цеха брикетирования медно-никелевого концентрата в г. Заполярный. По расчетам специалистов новая технология позволит в 35 раз снизить вредные выбросы в атмосферу, т.е. достигнуть европейского уровня экологической безопасности [12]. В 2012 – 2013 гг. планируется внедрение оптимальной технологии для 100 % удаления из солевых стоков никелевого производства на ГМК «Североникель» вредных примесей. Проекты по модернизации плавильного цеха и по удалению примесей из солевых стоков относятся к наилучшим мировым технологиям.

На основании проведенного SWOT-анализа можно заключить, что во внутренней среде Мурманской области содержится уникальный потенциал для успешного развития, реализации которого способствуют благоприятные внешние возможности.

Таким образом, географическая открытость, выгодное приграничное и приморское положение, близость к цивилизованной Европе, наличие значительного потенциала топливно-энергетических, минерально-сырьевых, биологических и рекреационных ресурсов, усиление процессов глобализации с включенностью области в многочисленные международные взаимодействия со странами Северной Европы (например, экология и охрана окружающей среды, ориентация на высокие стандарты качества жизни) выдвигают Мурманский регион на передовые позиции в сфере регионального устойчивого развития и создают предпосылки для формирования региона как крупного конкурентоспособного экономического центра на Европейском Севере России и в Арктике.

Литература

1. *Васильев А.В.* Арктика: новый вектор развития //Арктика. Экология и экономика, 2011, № 1, с. 20-25.
2. *Волкова Л.* Методика проведения SWOT-анализа. – Режим доступа: http://m-arket.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html
3. *Денисов В.В.* Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. – 502 с.
4. *Денисов В.В., Светлова М.В.* Актуальные проблемы эколого-географического положения Мурманской области // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 20, с. 187-193.
5. Доклад о развитии человека 2010 года. Реальное богатство народов: пути к развитию человека. – Режим доступа: http://www.un.org/ru/development/hdr/2010/
6. *Исаченко А.Г.* Экологическая география северо-запада России. Часть 1. – СПб.: Изд-во РГО, 1995. - 206 с.
7. Мурманская область в XXI веке: тенденции, факторы и проблемы социально-экономического развития. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. - 192 с.
8. Мурманскстат. – Режим доступа: http://murmanskstat.gks.ru/moinfigures/default.aspx
9. Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2025 года. – Режим доступа: http://economics.gov-murman.ru/ekonomika_oblast/
10. Стратегия социально-экономического развития Северо-Западного федерального округа на период до 2020 г. – Режим доступа: http://government.ru/gov/results/17299/
11. Технология стратегического планирования. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 1999. – 79 с.
12. *Харитонова Г.Н.* Реформа платежей за негативное воздействие на окружающую среду: сущность и риски реализации // Арктика. Экология и экономика, 2011, № 1, с. 76-85.

Д.А. Петренко, Д.В. Поздняков, Л.Х. Петтерссон, Л.Н. Карлин

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ АЛГОРИТМОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В АРКТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ SEAWIFS И MODIS-AQUA

D.A. Petrenko, D.V. Pozdnyakov, L.H. Pettersson, L.N. Karlin.

ASSESSMENT OF THE ADEQUACY OF ALGORITHMS OF THE RETRIEVAL OF PRIMARY PRODUCTION IN THE ARCTIC FROM SATELLITE OCEAN COLOUR DATA.

В данной работе авторами были протестированы три алгоритма восстановления ПП в Арктике по данным дистанционного зондирования: а) Бехренфелда и др., 1997 б) Бехренфелда и др., 2005 в) Марра и др., 2003. Валидации алгоритмов произведена по обширной базе данных in situ в Арктике. Выявлена несомненная предпочтительность алгоритма Бехренфелда и др., 1997, а также необходимость использования специализированных биоптических алгоритмов на основе многомерной оптимизации Левенберга-Марквардта для восстановления концентрации хлорофилла в шельфовой зоне и зонах цветения кокколитофоров.

Ключевые слова: Северный Ледовитый Океан, первичная продукция, дистанционное зондирование, алгоритмы восстановления первичной продукции, гидрооптический алгоритм.

In this paper, the authors have tested three well known algorithms for quantification of primary production from space: a) Behrenfeld and Falkowski, 1997 b) Behrenfeld at. al., 2005 c) Marra at. al., 2003. The algorithm validations were effected using an extensive database of in situ data on the Arctic. .Unambiguously is showed the prevailing efficiency of the algorithm by Behrenfeld and Falkowski, 1997. The research has also revealed the necessity of using dedicated bio-optical algorithms based on the Levenberg-Marquardt multivariate optimization procedure for the retrieval of the phytoplankton chlorophyll in the shelf zone.

Key words: Arctic Ocean, primary production, phytoplankton chlorophyll, remote sensing, primary production retrieval algorithms, hydro-optical algorithms.

1. Введение

В настоящее время широко распространено мнение, прочно опирающееся на множество наблюдений, что как в настоящем и, так и в будущем, по крайне мере в течение 21 века, высокие широты гораздо более подвержены влиянию глобального потепления, чем более низкие широты [30].

В связи с изменениями в обмене CO_2 между атмосферой и океаном и последующей асидификацей вод океана [11, 28], в сочетании с другими сопутствующими глобальному потеплению физическими изменениями следует ожидать изменения в доступности питательных веществ, скорости клеточного метаболизма, видовом составе фитопланктона, увеличении скорости первичного продуцирования в водой толще.

В свою очередь, изменения в скорости образования первичной продукции в Арктике влечет за собой неизбежные сдвиги в цикле углерода в системе атмосфера-океан, что, в конечном счете, через механизм обратной связи приводит к изменению климата в глобальном масштабе.

До наступления потепления в Арктике, Арктический океан не рассматривался в качестве значительного источника углерода, поскольку *(1)* обширный ледяной покров ограничивал обмен между атмосферой и океаном, и *(2)* уровни биологической продуктивности под многолетним льдом считались низкими [25]. Тем не менее, в более теплых условиях можно ожидать увеличение количества углерода, поглощаемого Северным Ледовитым океаном. Таким образом, адекватная оценка этого роста имеет особо важное значение.

Для изучения огромной акватории Северного Ледовитого океана и значительных пространственных и временных изменений роста фитопланктона в течение вегетационного сезона целесообразно использовать спутниковые измерения.

Однако публикации, появившиеся до сих пор (еще в очень небольшом числе), демонстрируют значительную неопределенность в определении реальной тенденции первичной продукции (ПП) за последнее десятилетие в Арктике [7]. Предположительно, это связанно с рядом факторов, в первую очередь, неполной адекватности алгоритмов восстановления ПП по спутниковым данным. К настоящему времени, предложен целый ряд таких алгоритмов, однако, в большинстве случаев они непосредственно не предназначены для применения к водам Арктики/высоким широтам [5, 6, 9, 14, 15, 22, 29, 36, 58, 59, 61, 80]. Среди наиболее часто цитируемых и применяемых к высокоширотным морским акваториям являются алгоритмы, предложенные в [47, 12, 13].

Следует отметить, что в прошлом было предпринято несколько попыток оценки эффективности алгоритмов восстановления ПП [20, 27, 35], однако они проводились *(а)* не для Северного Ледовитого океана и *(б)* без обширного банка данных *in situ*.

В данном исследовании мы анализируем эффективность трех вышеупомянутых алгоритмов, с использованием данных спектрорадиометров SeaWiFS и MODIS и собранной нами базы данных измерений *in situ* по ПП.

2. Район исследования/общая характеристика Северного Ледовитого Океана (СЛО)

Хотя детальные границы Арктического бассейна, разумеется, известны [1], однако мы, следуя утвердившейся практике в дистанционном зондировании, приняли в настоящем исследовании Северный Ледовитый океан, как район, лежащий севернее широты 65°N [57].

СЛО является самым маленьким и мелководным океаном на планете. Бассейн Арктики может быть разделен по морфометрическим характеристикам на шельфовую и пелагиальную зоны (см. рис.1) [79]. К шельфовой зоне Арктики относятся те области, которые лежат в пределах изолинии, соответствующей 200 метровой глубине, а пелагиальной, соответственно, остальная площадь с глубинами выше 200 м. Пелагиальная и шельфовая зоны, как известно, существенно отличаются по оптическим свойствам воды [66]. Следовательно, алгоритмы восстановления параметров качества воды должны быть специализированы для обоих типов вод.

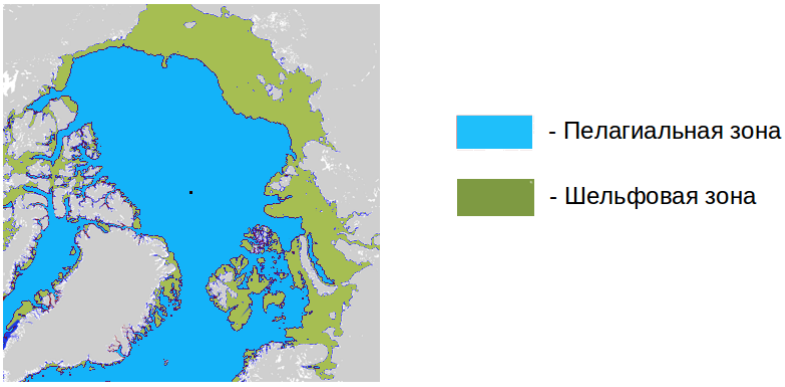


Рис. 1. Шельфовая и пелагиальная зоны Арктики [78].

3. Используемые данные

3.1. Данные in situ

Общее число судовых измерений ПП, на различных станциях в СЛО (рис.2), собранное в нашей базе данных, составляет более восьми тысяч. Созданная база данных охватывает период 1958-2005 (рис. 2) и включает данные, опубликованные в различных отечественных и зарубежных публикациях [4, 20, 33, 35, 40, 41, 43, 44, 64, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78], а так же данные, полученные по линии личных контактов (такие данные были предоставлены: Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом, Россия; Институтом биологии моря, Россия; Национальным центром океанографических данных, США, Британским Центром Океанографических Данных, Великобритания). Более поздние данные *in situ* по ПП на данный момент оказываются либо недоступными для свободного доступа или они не сопровождаются полной сопутствующей информацией, такой как точное географическое местоположение, глубина забора проб/вертикальный профиль и т.д. На Рис 2а представлено пространственно временное распределение всех станций в нашей базе данных. Рис. 2б и 3 иллюстрируют временное распределение данных, использованных для верификации алгоритмов восстановления ПП. Основными критериями выбора данных *in situ* были: близость максимума хлорофилла (*хл*) фитопланктона к поверхности воды, а также наименьшая разница во времени между контактным измерением и пролетом датчика цвета океана. Эти требования существенно сузили круг судовых данных пригодных для исследования алгоритмов восстановления ПП.

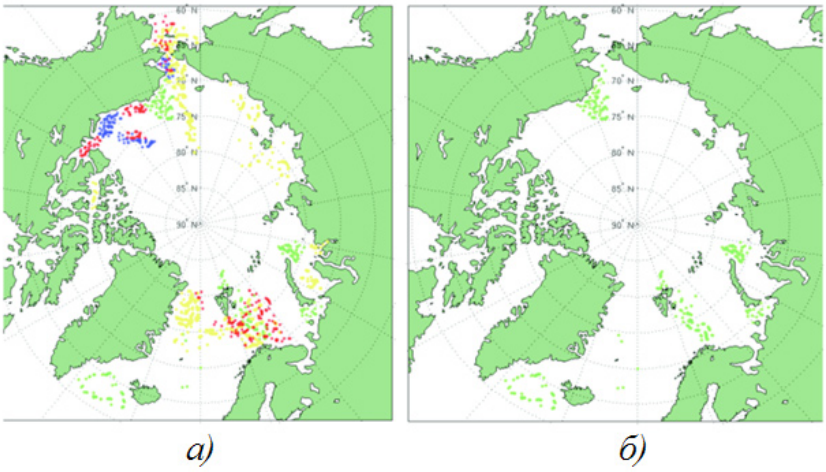


Рис. 2. Пространственное распределение данных *in situ*, собранных в базу данных
а) все собранные данные in situ по ПП (цвета соответствуют годам: синие точки <1977, красные точки 1977-1987, желтые точки 1987-1997, зеленые точки >1997) и б) данные in situ (1998-2005), используемые для валидации алгоритмов восстановления ПП.

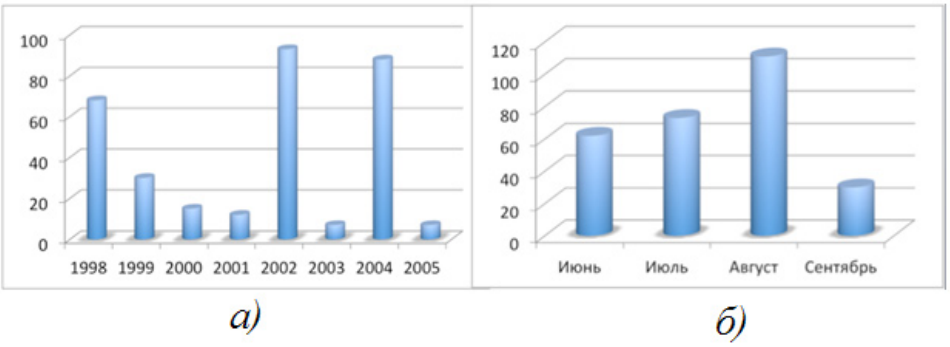


Рис. 3. а) межгодовое и б) помесячное распределение количества станций контактных измерений за период 1998- 2005гг, вошедших в базу данных.

В дополнение к данным по ПП в поверхностном слое, были так же собраны вертикальные профили ПП. По возможности собирались данные, и о так называемых связанных показателях, отражающих биохимические и физические переменные: скорость углеродной продукции, μ, концентрация хлорофилла (*хл*), температура поверхности моря (ТПМ), концентрации биогенов, освещенность водной поверхности в диапазоне фотосинтетически активной радиации (ФАР), т.е. в спектральной области 400-700 нм, коэффициент диффузного ослабления ФАР, глубина эфотической зоны, коэффициент отражения дистанционного зондирования, глубина перемешанного слоя (ГПС), профили температуры и солености воды.

Как видно из рис. 2, собранные данные охватывают не только пелагиальную область (например, свободную ото льда поверхность Северной Атлантики, русский сектор Центральной Арктики, канадский бассейна), но и периферические моря: Гренландское, Баренцево, Белое, Печорское, Карское, Лаптевых, Чукотское, Бофорта. Количество и пространственно-временное распределение указанных выше данных, по сравнению с данными по ПП, значительно меньше. Некоторые из этих данных были использованы для валидации тестируемых алгоритмов, а также для проверки соответствующих спутниковых данных и качественного рассмотрения/контроля согласованности полученных результатов.

3.2. Данные дистанционного зондирования

В данной работе использовались концентрации хл фитопланктона, полученные из исходных данных спектрорадиометров SeaWiFS и MODIS-Aqua, с применением следующих алгоритмов: *а*) стандартные алгоритмы OceanColourSeaDAS OC3Mv6/OC4v6, *б*) алгоритм Garver-Siegel-Maritorena (GSM), использовались так же *в*) данные проекта OceanColour MEASURES Project data. Последние (далее упоминаемые как MEASURES) получены с помощью алгоритма GSM и специальной процедуры отфильтровывания облачности (http://adsabs.harvard.edu/abs/2008AGUFMIN51B1156M). Все три набора представляют собой среднемесячные данные 3 уровня, приведенные к одной проекции с пространственным разрешением 4 км.

Собранные данные из указанных трех источников были подвергнуты предварительному сравнительному анализу для того, чтобы в конечном итоге выбрать тот источник, который представляет наиболее надежную и достоверную информацию.

Помимо концентраций *хл* фитопланктона, собирались данные по спектральным коэффициентам дистанционного зондирования 3 уровня, спектральному коэффициенту диффузного ослабления на длине волны $\lambda = 490$ нм, а так же коэффициенту поглощения и обратного рассеяния хл на длине волны $\lambda = 490$ нм (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/).

3.3. Данные численного моделирования

Данные по ГПС, получены из пилотного реанализа с применением программного продукта TOPAZ 4 [65]. TOPAZ – это ассимиляционная модель ледового покрытия в Северной Атлантике и Арктике с горизонтальным разрешением 12-16 км.

TOPAZ представляет собой основное рабочие ядро центра морского прогноза проекта MyOcean (http://www.myocean.eu.org). Модель использует гибридную координационную систему, принятую в программе HYCOM [16] в сочетании с моделью морского льда [31]. Термодинамический блок предложен [24]. Модель ассимилирует ТПМ, альтиметрию, а так же сплоченность и дрейф льда и доступные контактные измерения с применением фильтра Калмана [26].

4. Алгоритмы

4.1. Алгоритмы восстановления ПП

Как указано во Введении, в пелагиальной и шельфовой зонах СЛО были протестированы следующие алгоритмы восстановления ПП: Марра и др. [47]; Бехренфелда и др., 1997 [12]; и Бехренфелда и др., 2005 [13]. Кратко эти алгоритмы описаны ниже.

Алгоритм Марра и др., 2003.

Основываясь на работах [10] а так же [37], Марра и др., параметризовали дневную ПП по глубине Z следующим образом:

$$\mathrm{PP}(z) = \varphi \cdot a^*_{chl} \cdot chl \cdot E_{par}(z), \tag{1}$$

где φ - квантовый выход фотосинтеза(моль С·моль фотонов$^{-1}$); a^*_{chl} - удельный коэффициент поглощения фитопланктона [м^2·мг *хл*$^{-1}$]; *chl* - концентрация хлорофилла фитопланктона (мг·м$^{-3}$); E_{par} - фотосинтетически активная радиации (моль фотонов·м$^{-2}$·день$^{-1}$),

Основываясь на данных многочисленных измерений *in situ* [47], в этом алгоритме предполагается, что удельный коэффициент a^*_{chl} *(1)* не изменяется с глубиной в зоне фотосинтеза, и *(2)* при ТПМ <12 °С практически постоянен [17] и равен ~ 0.01 м^2 мг *хл*$^{-1}$. Не обладая данными о типичных значениях φ для Арктического бассейна, Марра и др. придали параметру φ самое высокое наблюдаемое значение: 0,125 molsO$_2$(моль фотонов)$^{-1}$. Для оценки вертикального профиля нисходящего ФАР используется величина коэффициента диффузного ослабления, K_d, которая в этом алгоритме принимается постоянной и равной 0,85 м$^{-1}$.

Используя свои оценки зависимости ГПС-ПП в Мировом океане, в том числе и в Атлантическом океане, Марра и др. предполагают, что величина ГПС может быть вынесена из рассмотрения при определении ПП из космоса.

ПП в столбе воды рассчитывается путем интегрирования ПП по продолжительности дня и эфотической зоне, причем последняя, определяется величиной K_d:

$$\mathrm{PP} = \iint PP(z)\,dtdz. \tag{2}$$

Алгоритм Бехренфелда и др., 1997.

Это вертикально обобщенная/глубинно интегрированная модель (Vertically Generalized Production Model). Ключевым в этой модели является параметр оптимальной эффективности ассимиляции профиля продуктивности, P^B_{opt}. Входные переменными являются: концентрация *хл* в приповерхностном слое, ФАР и ТПМ.

Вместо использования гаусовеного распределения *хл* с глубиной (например, параметризованного в работе [50] для вод различной трофности), Бехренфелд и др., 1997 просто умножают параметр фиксации углерода, P^B_{ξ}, являющегося функцией оптической глубины ζ, на значение *хл* при P^B_{opt} (т.е. chl_{opt}). Это было сделано исходя

из предыдущих исследований, которые показали, что точность восстановления первичной продуктивности в фотической зоне, PP_{eu}, оказывается статистически независимой от учета или не учета вертикальных профилей *хл*, chl_z. Таким образом, chl_z заменяется на chl_{opt}.

Исходя из этого предположения, ПП во всей зоне фотосинтеза может быть рассчитана следующим образом:

$$PP_{eu} = 0.66125 \cdot P^B_{opt} \cdot \left[E_o / \left(E_o + 4.1 \right) z_{eu} \cdot chl_{opt} \cdot DL \right], \quad (3)$$

где P^B_{opt} = $-3.27 \cdot 10^{-8} \cdot T^7 + 3.4132 \cdot 10^{-6} \cdot T^6 + 1.348 \cdot 10^{-4} \cdot T^5 + 2.462 \cdot 10^{-3} \cdot T^4 - 0.0205 \cdot T^3 + 0.0617 \cdot T^2 + 0.2749 \cdot T + 1.2956$ (мгС·мгХл$^{-1}$·ч$^{-1}$) – эмпирически установленная взаимосвязь между средним P^B_{opt} и температурой воды, T (это соотношение выполняется в диапазоне ТПМ от -1 до 29 °С).

Стоит отметить, что в модели Бехренфелда и др., 1997 соотношение между P^B_{opt} и T отличается от соотношения, предложенного [27], у которого оно описывает экспоненциальный рост P^B_{opt} с ТПМ, тогда как в модели Бехренфелда и др., 1997, P^B_{opt} начинает уменьшатьсяпри ТПМ > 20 °С. Кроме того, модель [27] использует максимальный наклон для удельной скорости роста, $\mu = \frac{1}{C}\frac{dC}{dt}$ (удвоение в день), в то время как в модели Бехренфелда и др., 1997 используется среднее значение параметра фотоадаптации, P^B_{opt}. Фактор 0,66125 является объединяющим коэффициентом для C_z и E_o = ФАР (Einstein·м$^{-2}$·д$^{-1}$), $z_{eu} = \ln(0.01)/K_d(490)$ (м), где K_d - диффузный коэффициент ослабления излучения на λ = 490 нм (м$^{-1}$), DL- дневная продолжительность солнечного сияния (ч).

Имеющиеся данные *in situ* свидетельствуют, что значение chl_{opt} тесно связано с дистанционно определяемой концентрацией *хл*, т.е. chl_{sat} (r^2=0.96). Учитывая, что в подавляющем числе случаев P^B_{opt} (ζ_{opt}< 1.3) достигается в приповерхностных слоях водного столба, в модели Бехренфелда и др., 1997 предполагается, что $chl_{opt} = chl_{sat}$.

Алгоритм Бехренфелда и др., 2005.

В отличие от модели Бехренфелда и др., 1997, в модели Бехренфелда 2005 в место chl_{sat} используется отношение $(chl{:}C)_{sat}$, которое, как сообщается, отражает более адекватно, нежели при использовании chl_{sat}, физиологическую акклиматизацию фитопланктона к изменениям в освещенности водной поверхности, наличии биогенов и температурного режима в толще воды. Это утверждение основано на наблюдениях за малопродуцированными водами, в которых биомасса фитопланктона остается неизменной, тогда как концентрация *хл* претерпевает существенные изменения в ответ на изменения внутриводных и атмосферных условий. Напротив, в высокопродуктивных водах *chl* и биомасса фитопланктона устойчиво коррелируют.

Для учета выявленной особенности, в модели коэффициент обратного рассеяния, b_b, на длине волны 440 нм используется в качестве меры биомассы фитопланктона. Соотношение между углеродом фитопланктона, С (мгС·м$^{-3}$) и $b_b(440)$ (м$^{-1}$) параметризовано следующим образом:

$$C = 1300(b_b - 0.00035), \tag{4}$$

где вычитаемое число (0,00035) представляет собой фоновое значение b_b, наблюдаемое в непродуктивных водах, в которых изменения *хл* не связаны с вариациями биомассы фитопланктона, а обусловлены внутриклеточными изменения в пигментном комплексе. Коэффициент 13000 (мгС·м$^{-2}$) является скалярной, экспериментально установленной, величиной обеспечивающий согласованность между $(chl{:}C)_{sat}$ и результатами лабораторных исследований среднего вклада фитопланктона в общее количество частиц углерода (~ 30%).

Среднемесячная освещенность ГПС (E_{MLD}) оцениваются в модели с помощью выражения:

$$E_{MLD} = E_0 \cdot \exp(-K_d(490) \cdot MLD / 2), \tag{5}$$

где E_o - освещенность водной поверхности, и $K_d(490)$ коэффициент диффузного ослабления излучения на длине волны $\lambda = 490$ нм. Как $K_d(490)$ так и *хл*, E_o могут быть восстановлены по данным дистанционного зондирования с использованием полуэмпирического алгоритма GSM [45].

Скорость роста (деления в день) клеток фитопланктона, μ является функцией освещенности, E_z, биогенов (N) и ТПМ, и пропорциональна μ_{max}. На основе экспериментальных данных, μ_{max} принимается равной 2 деления дь$^{-1}$, и таким образом μ параметризуется следующим образом:

$$\mu = 2 \cdot (chl / C)_{sat} / \left[0.002 + (0.045 - 0.022)\exp(-3E_{MLD})\right] \cdot \left[1 - \exp(-3E_{MLD})\right]. \tag{6}$$

Формула (6) является результатом нормализации μ на потенциально максимально возможное значение *chl*:C [т. е. $Chl/C_{N,Tmax}$] при данной освещенности, E_{MLD}. Это значение $chl/C_{N,Tmax}$ экспериментально установлено по спутниковым определениям значений отношения *chl*:C.

ПП равняется произведению биомассы углерода фитопланктона на скорость роста:

$$PP = C \cdot \mu \cdot z_{eu} \cdot E_z(PAR), \tag{7}$$

где z_{eu}, как и выше, равна $\ln(0.01)/K_d(490)$.

Как видно из приведенных соотношений описывающих C, μE_z, и $K_d(490)$, все четыре переменные могут быть получены на основе спутниковых данных. Вводя комбинированный коэффициент, учитывающий изменчивость C и P^B_{opt} по глубине водного столба (см. формулу. 3), Бехренфелд и др., 2005 предлагают следующее выражение для восстановления суточной ПП в водном столбе (мгС· м$^{-2}$·день$^{-1}$):

$$\begin{aligned} PP = {} & C_{sat}\left[2 \text{ cell divisions day№} \left[(chl:C)_{sat} / \left[0.22 + (0.045 - 0.022) \cdot \right.\right.\right. \\ & \left.\left.\left. e^{-3EMLD}\right]\right]\left[-\ln(0.01) / K_d(490)\right]\right]\left[0.66125 \cdot E_o / (E_o + 4.1)\right]. \end{aligned} \tag{8}$$

В табл. 1 перечислены входные параметры, необходимые для восстановления ПП различными моделями. Из табл. 1 видно, что для всех тестируемых алгоритмов дистанционного определения ПП требуются данные о *хл*, ФАР и ТПМ.

В данном исследовании мы провели сравнение результатов применения всех трех алгоритмов ПП для восстановления ПП в Арктике.

Таблица 1.

Параметры необходимые для запуска тестируемых моделей ПП

Алгоритм	Параметр						
	хл	ФАР	ТПМ	$K_d(490)$	DL	$b_{b,p}$	ГПС
Марра	+	+	+		+		
Бехренфелд 1997	+	+	+	+	+		
Бехренфелд 2005	+	+	+	+	+	+	+

4.2. Алгоритмы восстановления *хл*

В соответствии с принятым разделением СЛО (рис. 1) на шельфую и пелгиальную зоны, для восстановления концентрации *хл* в *шельфовой* зоне мы применили специальный алгоритм BOREALI.

4.2.1. Алгоритм BOREALI

Из-за значительного влияния поверхностного и речного стока, прибрежные воды, по сравнению с пелагиальными, как правило, являются оптически сложными, в результате присутствия в них в дополнение к фитопланктону, взвешенных минеральных веществ (МВ) и окрашенной фракции растворенного органического вещества (РОВ). Стандартные биооптические алгоритмы NASA работают более успешно в пелагиальных зонах- оптически простых водах и оказываются практически неприменимыми к оптически сложным водам [32]. Чтобы обойти эту сложность, мы восстанавливали концентрации *хл* (а также МВ и РОВ) по данным 3 уровня NASA SeaWiFS и MODIS-Aqua с использованием алгоритма BOREALI.

На основании процедуры многомерной оптимизации Левенберга-Марквардта, алгоритм BOREALI был разработан специально для прибрежных/оптически сложных вод [38].

В настоящем исследовании мы применили алгоритм BOREALI для шельфовой зоны СЛО (то есть области в пределах изобаты 200м), полагая, что данная область отвечает критериям оптически сложных вод. Это предположение основано на результатах предыдущих исследований [39, 62].

К шельфовой зоне был применен алгоритм BOREALI, использующий метод многомерный оптимизации, основывающийся на анализе подповерхностного спектрального коэффициента отражения для дистанционного зондирования, $R_{rsw}(\lambda, C, a^*, b_b^*)$, который по определению является подповерхностной восходящей спектральной яркостью, $L_u(-0, \lambda)$, нормированной на нисходящую подповерхностную спектральную освещенность, $E_d(-0, \lambda)$ [34]:

$$R_{rsw}\left(-0,\lambda\right)=\frac{L_u(-0,\lambda)}{E_d(-0,\lambda)}. \tag{10}$$

R_{rsw} является функцией вектора концентраций C всех основных присутствующих в зондируемом водном столбе цветообразующих компонентов (ЦОК), а так же коэффициентов удельного поглощения $a^*(\lambda)$ и обратного рассеяния $b^*(\lambda)$ ЦОК. Если S_j - измеренный/восстановленный подповерхностный спектральный коэффициент отражения для дистанционного зондирования на длине волны λ_j, то функция невязки между S_j и R_{rswj} может быть вычислена следующим образом:

$$g\left(C\right)=\sum_j \frac{S_j\left(\lambda\right)-R_{rsw}(\lambda,\boldsymbol{C})}{R_{rswj}(\lambda,\boldsymbol{C})}. \tag{11}$$

Используя все длины волн, решение методом наименьших квадратов реализуется путем минимизации квадратов невязок:

$$f\left(C\right)=\sum_j g_i^2(\boldsymbol{C}). \tag{12}$$

Абсолютный минимум $f(C)$ может быть найден при помощи алгоритма конечных разностей Левенберга-Марквардта [42, 46], что обеспечивает быструю сходимость итерационной процедуры.

Мы использовали параметризацию $R_{rsw}(\lambda)$ как функцию $a(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$, и вектор концентрации C = [*хл, MB, POB*], предложенную [34] для вод типа 2, которая выполняется в широком диапазоне зенитных солнечных углов и углов обзора близких к надиру:

$$R_{rsw}(l)=-0.00036+0.110b_b(l)/a(l)-0.0447(b_b(l)/a(l))^2. \tag{13}$$

Таким образом, для применения уравнения (15), нам необходима гидрооптическая модель для шельфовой зоны СЛО. Говоря иначе, требуются данные о спектральных значениях $a(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ всех присутствующих в зондируемом водном столбе ЦОК, включая и воду как таковую. Мы использовали гидрооптическую модель, предложенную для олиго- и мезотрофных вод [2], успешно примененную к арктическим водам [39, 62].

В основном в Баренцевом море, на самой окраине шельфовой зоны (но преимущественно в пелагиальной зоне) наблюдается, почти ежегодно, цветение кокколитофоров *E. huxleyi*, явление ранее тщательно исследованное в работе [68]. Для таких гидрооптических ситуаций нами был модифицирован алгоритм BOREALI, путем учета оптического вклада клеток *E. huxleyi* и отдельных кокколитов. Такая модифицированная версия алгоритма BOREALI уже применялась нами в Бискайском заливе, где цветение *E. huxleyi* происходит ежегодно [53, 54].

Модификация алгоритма BOREALI состояла в применении специализированной гидрооптической модели. Предполагается, что гидрооптические свойства водных областей, занятых цветениями *E.huxleyi*, определяется не только этой водорослью и отдельными кокколитами, но и диатомовыми водорослями, которые, как известно,

сосуществуют в области цветения, хотя, как правило, не превышает 10 % биомассы *E.huxleyi* [71]. Гидрооптическая модель создана по опубликованным работам [8, 19, 23, 66, 67]. Спектральные коэффициенты поглощения и рассеяния молекулами жидкой воды взяты из работ [60] и [51], соответственно.

Влияние диатомовой водоросли на спектр восходящего излучения (т.е. $R_{rsw}(\lambda)$) учитывалось на протяжении всего вегетационного периода [18, 66]. Обратное рассеяние клетками диатомовых водорослей принято равным 10^{-3} м$^{-1}$ (λ= 450nm) и $2\cdot10^{-3}$ (λ= 650nm) со спектральной зависимостью ~$\lambda^{-0.95}$ [70].

При составлении гидрооптической модели окраинной шельфовой зоны Баренцева моря (в области цветения *E. huxley*) было учтено, что *(1)* влияние речного и наземного стоков вод в прибрежную зону Баренцева моря является не значительным [21], и *(2)* основные объемы пресной воды поступает с прибрежными течениями, распространяющимися от Балтийского моря и Скандинавии, однако в связи с большими расстояниями переноса пресных вод в Арктику, они в значительной степени оказываются лишенными МВ и РОВ за счет разбавления морскими водами и гравиметрического осаждения [69].

4.2.2. Алгоритмы восстановления хл в пелагиальной зоне

Для свободной ото льда пелагиальной зоны СЛО, мы протестировали три доступных источников данных *хл*, полученные по данным NASA о цвете океана, с применением различных биоптических алгоритмов (рис. 3).

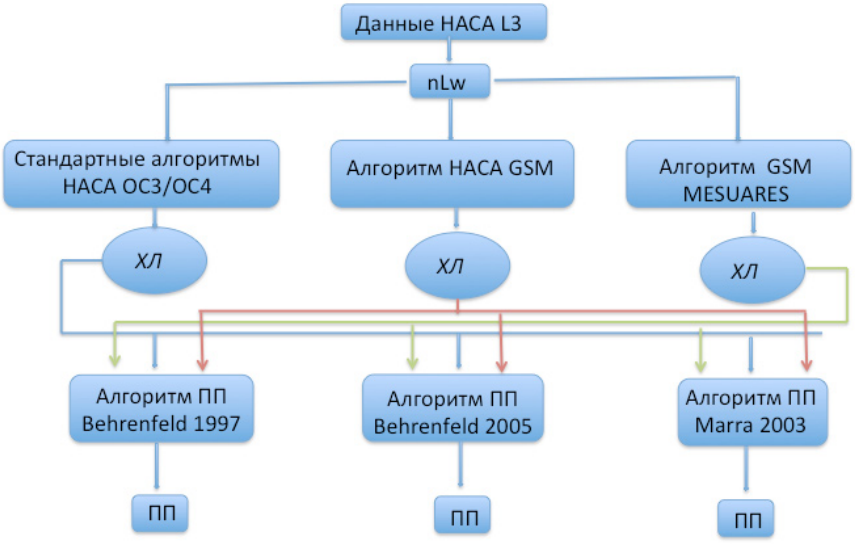


Рис. 3. Диаграмма последовательности процедуры восстановления ПП в пелагиальной зоне, с применением различных данных по концентрациям *хл* и различных алгоритмов восстановления ПП.

4.2.2.1. Алгоритмы OC3/OC4 и GSM

Стандартный алгоритм OC4, разработанный для восстановления концентрации *хл* по данным SeaWiFS и протестированный на водах открытых океанических акваторий (в водах типа I в соответствии с классификацией Мореля [52]) и является модифицированной кубической полиномиальной функцией, основанной на отношении сигналов некоторых каналов датчиков цвета океана [56]. OCv4 использует соотношение $R_{rs}(\lambda_i)/R_{rs}(\lambda_j)$ в качестве входного параметра для определения концентрации *хл*:

$$C_{chl} = 10^{(a_0 + a_1 \widetilde{R_{rs}} + a_2 \widetilde{R_{rs}^2} + a_3 \widetilde{R_{rs}^3} - a_4 \widetilde{R_{rs}})} + a_5, \tag{14}$$

где a_k ($k = 0,...,5$) – коэффициенты, $\widetilde{R_{rs}}$ наибольшее значение логарифма отношений в ряду $R_{rs}(443)/R_{rs}(555)$, $R_{rs}(490)/ R_{rs}(555)$ и $R_{rs}(490)/ R_{rs}(555)$.

Стандартный алгоритм для восстановления концентраций *хл* фитопланктона по данных MODIS (OC3M) является модификацией OC4v4, однако, использующий лишь 3 длины волны, 443, 488 и 550 нм, и, следовательно, отношения R_{rs} в двух каналах.

OC4v6 и OC3v6 версии биооптического алгоритма НАСА соответствуют порядковому номеру переработки исходных данных NASA: алгоритмы остались неизменными (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/WIKI/OCReproc.html), однако абсолютные значения выходных сигналов в спектральных каналах были скорректированы в 2011 году.

Полуэмпирический алгоритм GSM восстанавливает одновременно концентрацию хлорофилла, коэффициент поглощения растворенными веществами и детритом [$a_{cdm}(443)$]. Коэффициент обратного рассеяния частиц [$b_{bp}(443)$] восстанавливается из значений нормированного восходящего спектра яркости. Точность восстановления сопоставима с стандартными алгоритмами НАСА восстановления *хл*. Тем не менее, возможность одновременного восстановления $a_{cdm}(443)$ и $b_{bp}(443)$, наряду с *хл*, значительно расширяет его возможности более подробного отражения гидрооптических свойств ЦОК.

Алгоритм основан на соотношении, связывающем нормированную восходящую яркость $L_{WN}(\lambda)$ и первичные оптические характеристики (ПОХ) в толще воды:

$$L_{WN}(\lambda) = \frac{tF_0(\lambda)}{n_W^2} \sum_{i=1}^{2} g_i \left[\frac{b_b(\lambda)}{b_b(\lambda) + a(\lambda)} \right]^i, \tag{15}$$

где t – коэффициент переноса излучения через границу раздела море-воздух, $F_o(\lambda)$ – внеатмосферный солнечный поток, n_w – относительный показатель преломления морской воды, $a(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ коэффициенты поглощения и рассеяния морской водой – так называемые первичные гидрооптические характеристики (ПГХ).

Фактор g_i определяется как отношение f/Q [49]. Используя априори известные значение констант (t, $F_o(\lambda)$, n_w^2, ПГХ морской воды (a_w, b_{bw})) и параметризации, взятые из литературы, средний квадрат разности между результатами моделирования и измеренных значений $L_{WN}(\lambda)$ определяется процедурой Левенберга - Маркверда (см.

раздел 4.2.2.1). Для решения возникающей топологически сложной задачи, применяется процедура «закалки» [63]. При этом обязательное условие- процедура «закалки» должна восстанавливать искомый параметр в некоторых реалистичных границах.

4.2.2.2. Модифицированный алгоритм BOREALI

Районы цветения кокколитофоров *E.huxleyi* сопровождаются вегетированием диатомовых водорослей (в первую очередь в Баренцевом море и в меньшей степени, Гренландском и Норвежском морях). Восстановление *хл* диатомовых и кокколитофоров было выполнено с помощью специальной модификации алгоритма BOREALI, на основе процедуры многомерной оптимизации Левенберга-Марквардта (раздел 4.2.2.1). На рис. 4 показана последовательность обработки данных. Во-первых, данные дистанционного зондирования 3 уровня (L3) обрабатываются при помощи алгоритма BOREALI для получения суммарной концентрации *хл* в клетках *E. huxleyi* и диатомовых водорослей, совместно развивающихся в области цветения. Результирующая концентрация *хл* используется в качестве входного параметра в тестируемые алгоритмы ПП.

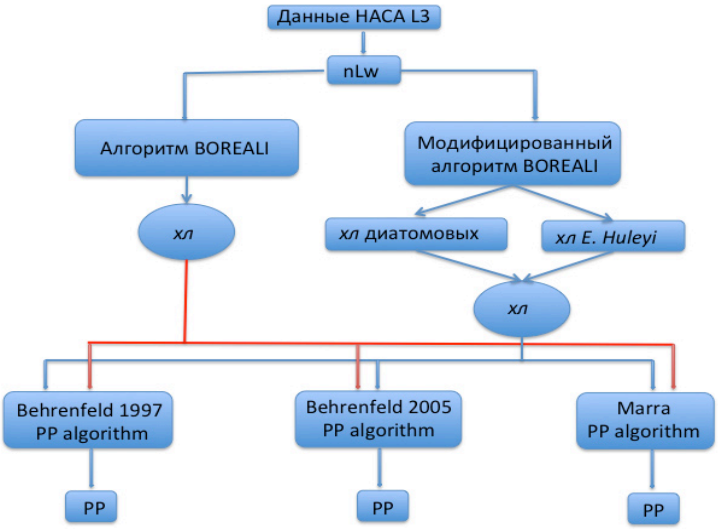


Рис. 4. Диаграмма последовательности обработки данных спутникового зондирования в области цветения кокколитофоров.

5. Совместимость данных SeaWiFS и MODIS

Из-за сбоев в работе SeaWiFS в июле и сентябре в 2008 г. и сентябре 2009 и 2010, нами привлекались и данные MODIS-Aqua за выше упомянутые периоды. Была проанализирована заменимость данных SeaWiFS с данными MODIS и было выяснено, что данные обоих датчиков удовлетворительно согласуются. Однако MODIS несколько переоценивает концентрацию *хл* по сравнению с SeaWiFS, в среднем на 1,4 мкг/л. Этот факт был учтен (через уравнения регрессии) при разработке временных рядов *хл*, и в использовании *хл* как входного параметра алгоритмов восстановления ПП.

6. Оценка адекватности данным численного моделирования ГПС

Одним из параметров для расчета ПП алгоритмом, предложенным Бехренфелдом и др., 2005, является ГПС (табл. 1). В связи с этим, мы проанализировали три массива данных ГПС: *а*) данные ГПС доступные на сайте: http://www.usno.navy.mil/FNMOC, *б*) данные ГПС *in situ*, полученные на станции Майк, и *в*) данные численного моделирования по последней версии модели TOPAZ.

Многолетние контактные измерения ГПС выполненные в период с 1949-1999 гг. в районе расположения станции Майк (60°N, 2°E) показывают, что среднее значение ГПС летом составляет 15 м [55].

По данным Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Centre (FNMOC), средние значения ГПС в Арктике составляет ~ 50 метров. Следует отметить, что карты ГПС, распространяемые на сайте FNMOC, имеют довольно много неточностей в Арктическом бассейне, по крайней мере с точки зрения геолокации, например, данные ГПС могут находиться на материках/островах. Наше сравнение данных ГПС FNMOC и многолетних натурных измерений ГПС [3], для тех же мест и дат, показали, что значения ГПС FNMOC значительно завышены, часто на 40-45 м. (см. рис. 6).

По климатологическим данным, полученным [48] (за период 1941-2008 с пространственным разрешением 2° на 2°) (http://www.lodyc.jussieu.fr/~cdblod/mld.html), в районе станции Майк ГПС составляет 20-25 м, что примерно на 5-10 м больше по сравнению с данными, представленными А. Смирновым.

На основе результатов сравнения (рис. 5), для восстановления ПП, нами использовались данные числового моделирования моделью TOPAZ.

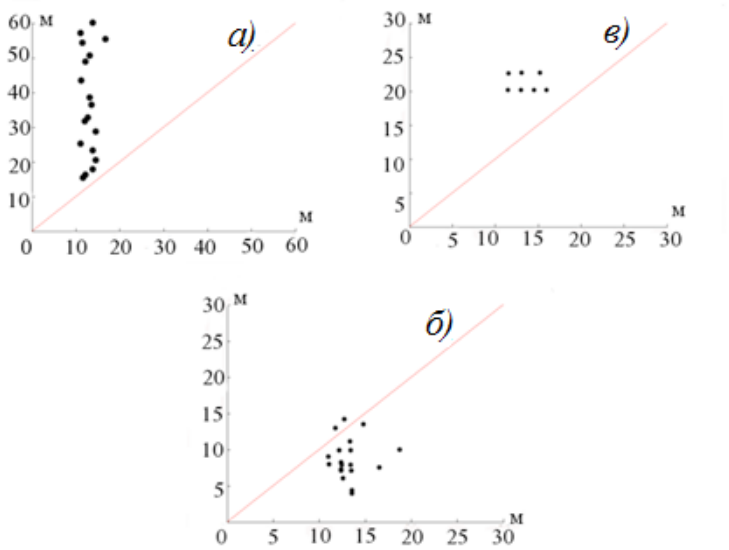


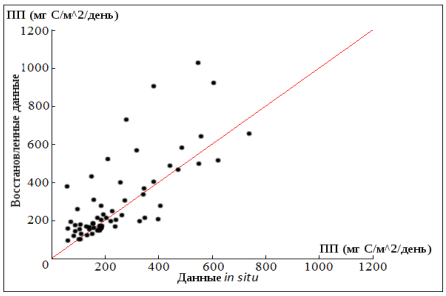
Рис. 5. Сравнения данных *in situ* по ГПС на станции Майк (июнь- август) с а) FNMOC, б) данные TOPAZ и в) данные B. Montegut.

7. Оценка применимости алгоритмов восстановления ПП

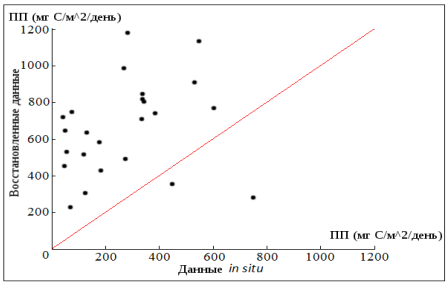
7.1. Оценка восстановления ПП в пелагиальной зоне.

На рис. 6 представлены результаты сравнения восстановленных значений ПП с данными *in situ*. Нами были протестированы различные комбинации алгоритмов восстановления ПП и входных данных. В качестве входных данных тестировались концентрации *хл*, восстановленные различными алгоритмами в слое воды, ограниченном уровнем z_{90} – глубиной проникновения солнечного света в море для дистанционного зондирования.

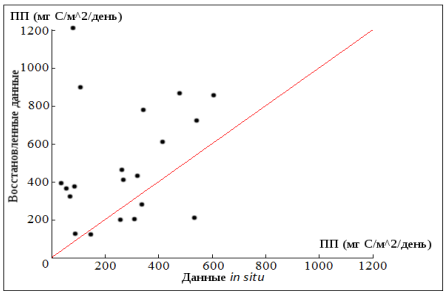
Алгоритм: Бехренфелд 1997
Данные *хл*: MEASURES



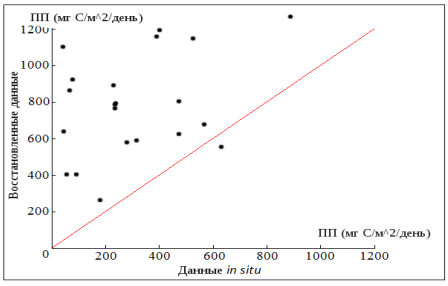
Алгоритм: Бехренфелд 1997
Данные *хл*: OC4



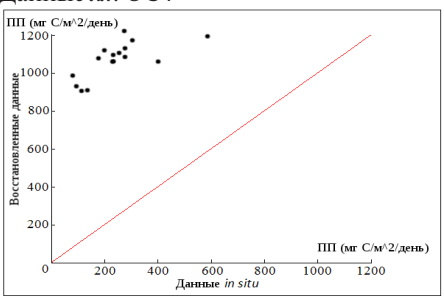
Алгоритм: Бехренфелд 1997
Данные *хл*: HACA GSM



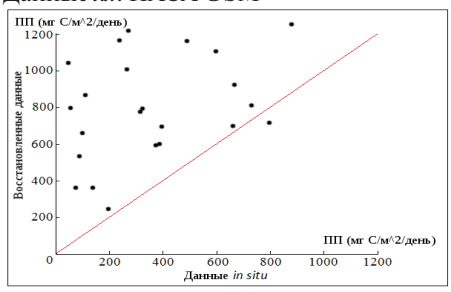
Алгоритм: Бехренфелд 2005
Данные *хл*: MEASURES



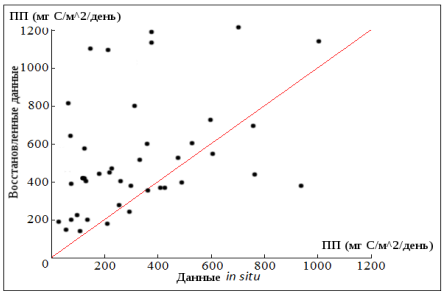
Алгоритм: Behrenfeld *et al.*, 2005
Данные *хл*: OC4



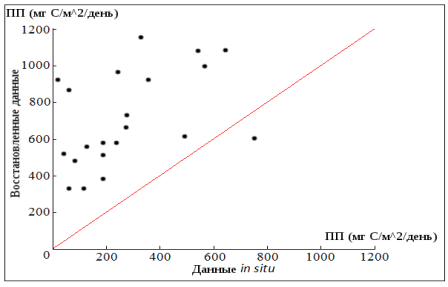
Алгоритм: Behrenfeld *et al.*, 2005
Данные *хл*: НАСА GSM



Алгоритм: Марра 2003
Данные *хл*: MEASURES



Алгоритм: Марра 2003
Данные *хл*: OC4



Алгоритм: Марра 2003
Данные *хл*: НАСА GSM

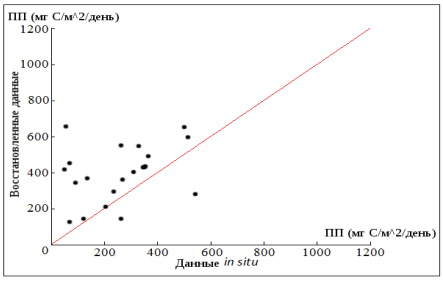


Рис. 6. Пелагиальная зона: результаты сравнения данных *in situ* и значений ПП, восстановленных с применением алгоритмов: Behrenfeld and Falkowski (1997), Behrenfeld *et. al.*(2005) и Marra *et. al.*(2003) с использованием комбинации данных по *хл* (GSM, OC3/OC4 и MEASURES).

При тестировании алгоритмов и входных данных *хл* в пелагиальной зоне было установлено, что наименее удовлетворительный результат был показан моделью Бехренфелда 2005. В диапазоне зарегистрированных вариаций *хл*, коэффициент корреляции варьировал от 0.09 до 0.23, а средне квадратичное отклонение от 319 до 366 (мгС м$^{-2}$ день$^{-1}$) соответственно (Таблица 2). Существенным моментом является то, что это единственная модель восстановления ПП учитывающая ГПС.

Согласно выше сказанному в разделе 6, для расчетов использовались данные математического моделирования модели TOPAZ. Несмотря на то, что эти данные *недооценивают* фактические значения ГПС (Рис 5), модель значительно *переоценивает* восстанавливаемые значения ПП (Рис 6). Значительно более удовлетворительные результаты были показаны моделью Марра. По значению коэффициента корреляции эта модель превосходит по точности алгоритм Бехренфелда 2005 почти в 2 раза. Было установлено, что модель предложенная Бехренфелда 1997 продемонстрировала результаты, значительно превосходящие результаты по двум другим моделям. Коэффициент корреляции варьировал от 0.52 до 0.8, что в ~1.5 раза больше чем у Марра и в ~4 раза больше чем Бехренфелда 2005, соответственно. Вторым, но не менее важным, установленным фактом, является то, что использование данных *хл* стандартных алгоритмов OC3/ OC4 является неприемлемым для восстановления ПП в пелагиальной зоне СЛО: при использовании этих данных все модели показали минимальные коэффициенты корреляции. Более значимые результаты были получены при использовании данных *хл* GSM/NASA, но это не явилось наилучшим результатом. Таблица 2 свидетельствует, что для восстановления ПП в пелагиальной зоне СЛО предпочтительнее использовать данные GSM/MEASURES, которые в сочетании с моделью Бехренфелда 1997, показали в данном исследовании, что коэффициент корреляции достигает величины 0.8 при среднеквадратичном отклонении 183 (мгС $м^{-2}$ $день^{-1}$).

Таблица 2

Пелагиальная зона: статистические характеристики результатов сравнения эффективности применения алгоритмов восстановления ПП, при использовании входных данных из различных источников

Параметры		Коэффициент корреляции, (в скобках – среднеквадратичное отклонение, мгС$м^{-2}$ $день^{-1}$)
Алгоритм	Входные данные по *хл*	
Бехренфелд 1997	GSM/MEASURES+ модифицированная модель BOREALI	0.80 (183)
Бехренфелд 1997	GSM/NASA	0.64 (217)
Бехренфелд 1997	OC3/NASA	0.52 (251)
Бехренфелд 2005	GSM/MEASURES	0.23 (319)
Бехренфелд 2005	GSM/NASA	0.17 (343)
Бехренфелд 2005	OC3/NASA	0.09 (366)
Марра 2003	GSM/MEASURES	0.69 (209)
Марра 2003	GSM/NASA	0.54 (246)
Марра 2003	OC3/NASA	0.37 (274)

Стоит отметить, что применение модифицированного алгоритма BOREALI для пелагиальной области цветения *E. huxleyi* в сочетании с данными MEASURES для шельфовой зоны увеличивает точность восстановления ПП, что подтверждается воз-

росшим значением коэффициента корреляции между контактными и восстановленными данными по ПП с 0.73 до 0.8. Для других алгоритмов и комбинаций входных данных применение модифицированного алгоритма BOREALI привело также к увеличению коэффициента корреляции, но существенно менее значительному.

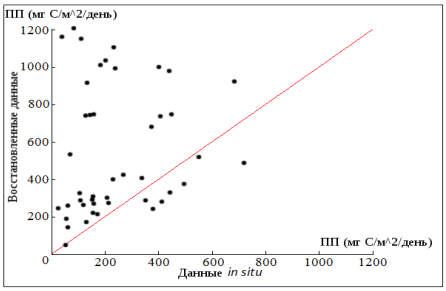
7.2. Оценка восстановления ПП в шельфовой зоне

Южная провинция шельфвой зоны Арктического бассейна охватывает обширную территорию, состоящую из цепочки прибрежных морей. Эти области мелководны и подвержены влиянию речного и подповерхностного стока. В результате, оптические свойства шельфовой зоны значительно отличаются от тех, которые присущих пелагиальным водам того же бассейна. Разница возникает из-за сложного состава вод шельфовой зоны: в отличие от океанических вод, воды шельфовой зоны имеют в составе, в дополнение к фитопланктону, так же МВ и РОВ. Как и фитопланктон, МВ и РОВ относятся к ЦОК, и совместно с фитопланктоном эти вещества изменяют спектр светового сигнала, выходящего из под поверхности воды и в конечном счете, регистрируемого спутниковым датчиком.

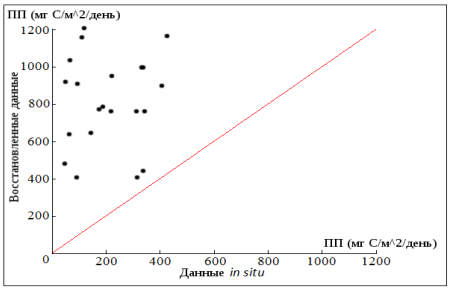
С тех пор как алгоритмы OC4 и GSM были открыты для свободного доступа, регулярно появляются сообщения, что они плохо подходят для получения информации в мутных водах, богатых растворенной органикой и/или минеральной взвесью (Морозов и др., 2010). Именно по этой причине для шельфовой зоны нами применялся алгоритм BOREALI.

Рис. 7 иллюстрирует результаты такого сравнения восстановленных значений ПП с соответствующими данными *in situ* с использованием тех же комбинаций входных данных и алгоритмов восстановления ПП как и на рис. 6. При этом для данной зоны использовались значения входного параметра - *хл*, полученного алгоритмом BOREALI и алгоритмами восстановления ПП по моделям Бехренфелда 1997 и Марра. Как и в пелагиальной зоне, в шельфовой зоне наилучшим образом проявила себя модель Бехренфелда 1997, но при этом модель Марра показала очень близкие результаты. Прежде всего, точность восстановления ПП зависит от точности определения концентрации *хл*, что находит свое отражение в отрицательных значениях коэффициента корреляции (от - 0.07 до - 0.15) при использовании любой из тестируемых моделей в ансамбле с данными *хл*, полученными стандартными алгоритмами OC3 / OC4 (Табл. 3). Использование данных по *хл*, полученных с применением алгоритма BOREALI, продемонстрировало несравнимо лучшие результаты: коэффициент корреляции оказывается равным 0.75 при среднеквадратичном отклонении 185 (мгС $м^{-2}$ $день^{-1}$).

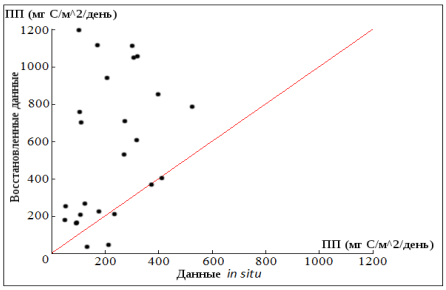
Алгоритм: Бехренфелд 1997
Данные *хл*: MEASURES



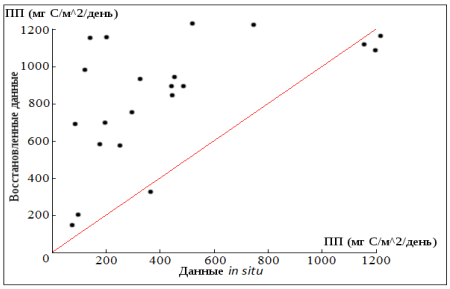
Алгоритм: Бехренфелд 1997
Данные *хл*: OC4



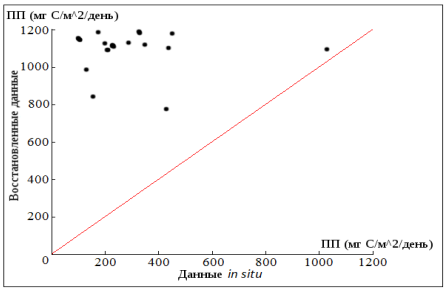
Алгоритм: Бехренфелд 1997
Данные *хл*: HACA GSM



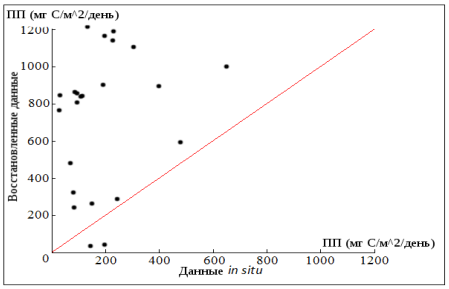
Алгоритм: Бехренфелд 2005
Данные *хл*: MEASURES



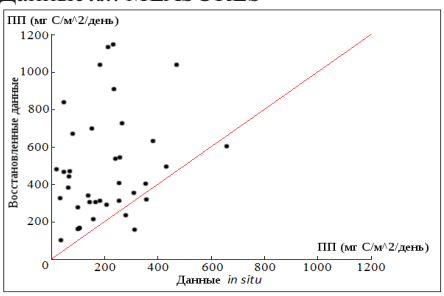
Алгоритм: Бехренфелд 2005
Данные *хл*: OC4



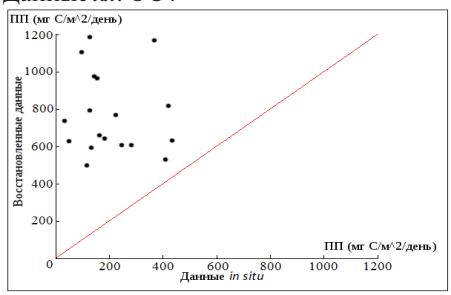
Алгоритм: Бехренфелд 2005
Данные *хл*: HACA GSM



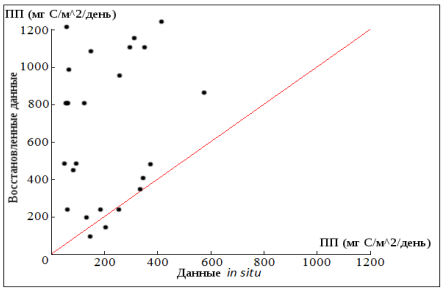
Алгоритм: Марра 2003
Данные *хл*: MEASURES



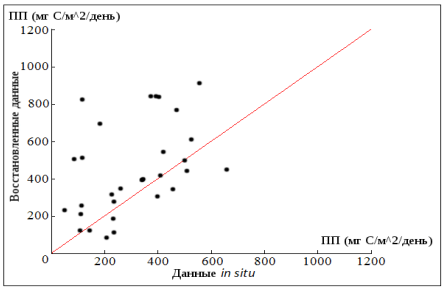
Алгоритм: Марра 2003
Данные *хл*: OC4



Алгоритм: Марра 2003
Данные *хл*: НАСА GSM



Алгоритм: Бехренфелд 1997
Данные *хл*: BOREALI



Алгоритм: Марра 2003
Данные *хл*: BOREALI

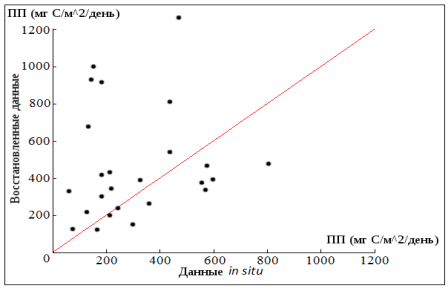


Рис. 7. Шельфовая зона: результаты сравнения данных по ПП *in situ* и значений ПП восстановленных алгоритмами Behrenfeld and Falkowski (1997), Behrenfeld *et. al.*(2005) и Marra *et. al.*(2003) с использованием данных по *хл*, полученных с применением алгоритмов GSM, OC3/OC4иMEASURES.

Таблица3

Шельфовая зона: статистические характеристики результатов сравнения.

Параметры		Коэффициент корреляции (в скобках – среднеквадратичное отклонение, мгСм$^{-2}$ день$^{-1}$)
Алгоритм	Входные данные по *хл*	
Бехренфелд 1997	GSM/MEASURES+ модифицированная модель BOREALI	0.61 (231)
Бехренфелд 1997	GSM/NASA	0.37 (265)
Бехренфелд 1997	OC3/NASA	-0.07 (377)
Бехренфелд 2005	GSM/MEASURES	0.17 (327)
Бехренфелд 2005	GSM/NASA	0.12 (339)
Бехренфелд 2005	OC3/NASA	-0.15 (412)
Марра 2003	GSM/MEASURES	0.52 (226)
Марра 2003	GSM/NASA	0.25 (324)
Марра 2003	OC3/NASA	-0.11 (397)
Бехренфелд 1997	BOREALI/NASA	0.75 (185)
Марра 2003	BOREALI/NASA	0.73 (188)

Заключение

Протестированные алгоритмы восстановления ПП достаточно популярны и часто используются в исследованиях биологических ресурсов Мирового океана. Однако ни один из них не разрабатывался специально для высоких широт и не проводилась их региональная валидация. Собранная база данных *in situ*, покрывающая практически весь СЛО, впервые позволила сравнить и выявить модель восстановления ПП оптимально применимую к столь сложному региону. Статистические характеристики сравнения восстановленных значений ПП моделью Бехренфелда 1997 с данными ПП *in situ* в шельфовой и пелагиальной зонах сопоставимы и свидетельствуют о предпочтительности применения данной модели для исследований в данном регионе. Также показано то, что продукты стандартных алгоритмов OC3/ OC4 неприменимы для восстановления ПП в Арктическом Бассейне. Продемонстрирована возможность учета областей цветения кокколитофоров в пелагиальной зоне СЛО. Так же впервые были восстановлены адекватные концентрации *хл* во всей *шельфовой* зоне СЛО, с применением специально разработанного для этих целей алгоритма BOREALI. Таким образом, в рамках задачи повышения точности восстановления ПП, проведенное исследование позволило на количественном уровне оценить эффективность применения специализированных алгоритмов восстановления хл в пелагиальной и шельфовой зонах, а так же в зонах цветения кокколитофоров.

Литература

1. *Баскаков Г. и Шпахер А.,* 1974, О природных границах Северного Ледовитого и Южного Ледовитого океанов. В Факторы и принципы физико-географического районирования полярных областей, Е. Короткевич (Ред.), pp. 67-78 (Санкт-Петербург: Гидрометиздат)
2. *Кондратьев К. Я., Поздняков Д. В., Исаков В. Ю.,* 1990, Радиационно-гидрооптические эксперименты на озёрах/ - Л., Наука. - 115 с.
3. *Смирнов А.В.* Эволюция верхнего слоя океана в Северо-Европейском бассейне : Дис. к-та геогр. наук / Смирнов Александр Викторович. - СПб., 2011. - 184 с.
4. *Agatova A. I., Kirpitcov K. B.,* 2000, Organic matter in the White Sea. Inter-annual variations in the spatial distributionof the organic matter in the White Sea. Oceanology. 40(6): 840–844.
5. *Antoine D., Andre J-M., and Morel A.,* 1996, Oceanic primary production. 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll. Global Biogeochemical Cycles. 10(1): pp. 57-69.
6. *Antoine D. and Morel A.,* 1996, Oceanic primary production. 1. Adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observations. Global Biogeochemical Cycles. 10(1): pp. 43-55.
7. *Babin M. and Bélanger S.,* 2011, How useful are ocean colour data to monitor changes in primary production and detect regime shifts in the Arctic Ocean. This is a paper presented at a conference. In Arctic Tipping Points Conference, 23-28 January 2011, Tromso, Norway, pp. 54
8. *Balch W., Drapeau D., Cucci T., Vaillancourtet R., Kilpatrick K., and Fritz J.,* 1999, Optical backscattering by particulate inorganic and organic carbon fractions. Journal of Geophysical Research, 104, pp. 1541 – 1558.
9. *Balkanski Y., Monfray P., Battle M. and Heimann M.,* 1999, Ocean primary production derived from satellite data: an evaluation with atmospheric oxygen measurements. Global Biogeochemical Cycles. 13(2), pp. 257-271.
10. *Bannister T.T.* 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. Limnology and Oceanography. 19, 1-12.
11. *Bates N. and Mathis J.,* 2009, The Arctic Ocean Marine Carbon Cycle: Evaluation of air-sea CO2 exchanges, ocean acidification impacts and potential risks. Biogeosciences. 6, pp. 2433-2459.
12. *Behrenfeld M. and Falkowski P.,* 1997, Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. Limnol. Oceunogr. 42(1), pp. 1-20.
13. *Behrenfeld M., Boss E., Siegel D. and Shea D.,* 2005, Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space. Global Biogeochemical Cycles. 19(GB1006), pp. 1-14. doi:10.1029/2004GB002299
14. *Berthelot B. and Deschamps P.,* 1994, Evaluation of bio-optical algorithms to remotely sense marine primary production from space. Journal of Geophysical Research. 99(C4), pp. 7979-7989.
15. *Bissinger J., Montagnes D., Sharples J. and Atkinso J.,* 2008, Predicting marine phytoplankton maximum growth rates from temperature: Improving on the Eppley curve quantile regression. Limnology and Oceanography. 53(2), pp. 487-493.
16. *Bleck R.* (2002), An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-cartesian coordinates, Ocean Modelling, 4, 55-88.
17. *Bricaud A. M., Babin A., Morel A. and Claustre H.,* 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization. Journal of Geophysical Research. 100(C7), pp. 13321-13332.
18. *Bricaud A., Bedhomme A.-L. and Morel A.,* 1988, Optical properties of diverse phytoplanktonic species: experimental results and theoretical interpretation. Journal of Plankton Research, 10, pp. 851-873.
19. *Bricaud A., Morel A. and Prieur L.,* 1983, Optical efficiency factors of some phytoplankterrs. Limnology and Oceanography, 28, pp. 816 – 832.
20. *Burenkov V. I., Vedernikov V. I., Yershova S.V.,* 2001, Utilization of SeaWiFS data for the assessment of biooptical characteristics inherent in the Barents Sea. Oceanology. 41(4): 485-490.
21. *Carmack E.,* 2000, The Arctic Ocean's Freshwater budget: sources, storage and export. This is a paper presented at a conference. In The freshwater budget of the Arctic Ocean, 27 April – 1 May 1998, Tallinn, Estonia, p. 91-152.
22. *Carr M., Friedrichs M., Schmeltz M., Aita M., Antoine D., Arrigo K., Asanuma I., Aumont O., Barber R., Behrenfeld M., Bidigare R., Buitenhuis E., Campbell J., Ciotti A., Dierssen H., Dowell M., Dunne J., Esaias W., Gentili B., Gregg W., Groom S., Hoepffner N., Ishizaka J., Kameda T., Le Que´re´ C., Lohrenz S., Marra J., Me´ lin F., Moore K., Morel A., Reddy T., Ryan J., Scardi M., Smyth S., Turpie K., Tilstone G., Waters K. and*

Yamanaka Y., 2006, A comparison of global estimates of primary production from ocean colour. Deep-Sea Research, 53, pp. 741-770.
23. *Devred E., Sathyendranath S., Stuart V., Maass H., Ulloa O. and Platt T.,* 2006, A two component model of phytoplankton absorption in the open ocean: theory and applications. Journal of Geophysical Research, 111(Co3011), pp. 1-11. doi:10.1029/2005JC002880.
24. *Drange H., K. Simonsen, N. Environmental and R. Center* (1996), Formulation of air-sea fluxes in the ESOP2 version of MICOM, Nansen Environmental and Remote Sensing Center.
25. *English T.,* 1961, Some biological observations in the central North Polar Sea. Drift Station Alpha 1957-1958. Arctic Institute of North America Research Paper, 13, pp. 8-80.
26. *Evensen G.* (2003), The ensemble Kalman filter: Theoretical formulation and practical implementation, Ocean Dynamics, 53(4), 343-367.
27. *Eppley R.,* 1972, Temperature and phytoplankton growth in the sea. Fishery Bulletin. 70, pp. 1063-1085.
28. *Fabry V., McClintock J., Mathis J., Grebmeir J.,* 2009, Ocean Acidification at High Latitudes: the Bellwether. Oceanography. 22(4), pp. 161-171.
29. *Friedrichs M., Carr M., Barber R., Scardi M., Antoine D., Armstrong R., Asanuma I., Behrenfeld M., Buitenhuis E., Chai F., Christian J., Ciotti A., Doney S., Dowell M., Dunne J., Gentili B., Gregg W., Hoepffner N., Ishizaka J., Kameda T., Lima I., Marra J., Mélin F., Moore K., Morel A., O'Malley R., O'Reilly J., Saba V., Schmeltz M., Smyth T., Tjiputra J., Waters K., Westberry T. and Winguth A.,* 2009, Assessing the uncertainties of model estimates of primary productivity in the tropical Pacific Ocean. Journal of Marine Systems. 76, pp. 113-133.
30. *Hasselmann K., Latif M., Hooss G., Azar C., Edenhofer O., Jaeger C., Johannessen O., Kemfert C., Welp M. and Wokaun A.,* 2003, The Challenge of Long-Term Climate Change. Science. 302(5652), pp. 1923-1925.
31. *Hunke E. C., and J. K. Dukowicz* (1997), An elastic-viscous plastic model for sea ice dynamics, J. Phys. Oceanogr., 27(9), 1849-1867.
32. *Sathyendranath S.* (Ed.), 2000, Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3: Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters, pp. 1-77.
33. *Shushkina E. A., Vinogradov M. E., Lebedeva L.P,* 1998, Biotic balance of the ocean, and assessment of the fluxes of organic carbon from the epipelagic province based on spaceborne and in situ data. Oceanology. 38(5): 694–702.
34. *Jerome J., Bukata R., and Miller J.,* 1996, Remote sensing reflectance and its relationship to optical properties of natural water. International Journal of Remote Sensing, 17(1), pp. 43–52.
35. *Hill V., and G. Cota,* 2005, Spatial patterns of primary production on the shelf, slope and basin of the western Arctic in 2002, Deep Sea Res. Part II, 52, 3344 – 3354, doi:10.1016/j.dsr2.2005.10.001
36. *Kahru M., Kudela R., Manzano-Sarabia M. and Mitchell B.,* 2009, Trends in primary production in the California Current detected with satellite data. Journal of Geophysical Research, 114(C02004), pp. 1-7. doi:10.1029/2008JC004979.
37. *Kiefer D., and Mitchell B.,* 1983, A simple, steady state description of phytoplankton growth based on absorption cross section and quantum efficiency. Limnology and Oceanography, 28, pp. 770-776.
38. *Korosov A., Pozdnyakov D., Folkestad A., Pettersson L., Sorensen K. and Shuchman R.,* 2009 a, Semi-empirical Algorithm for the Retrieval of Ecology-relevant Water Constituents in Various Aquatic Environments. Algorithms, 2, pp. 470-497. doi: 10.3390/a2010470.
39. *Korosov A., Pozdnyakov D., Grassl H.* 2011. Spaceborne quantitative assessment of dissolved organic carbon fluxes in the Kara Sea. Advances in Space Research. doi:10.1016/j.asr.2011.10.008.
40. *Lavoie D., Denman K. L., and Macdonald R. W.* 2010, Effects of future climate change on primary productivity and export fluxes in the Beaufort Sea, J. Geophys. Res.-Oceans, 115, C04018, doi:10.1029/2009jc005493
41. *Lee S., and Whitledge T.* 2005, Primary and new production in the deep Canada Basin during summer 2002, Polar Biol., 28, 190 – 197, doi:10.1007/s00300-004-0676-3.
42. *Levenberg, K.* 1944, A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. Quantitative and Applied Mathematics, 2, pp. 164-168.
43. *Matrai P., E. Olson S. Suttle, V. Hill, L. Codispoti, B. Light, and M. Steele,* 2011, Synthesis of primary production in the Arctic Ocean: I. Surface waters, 1954–2007, Prog. Oceanogr., in press.
44. *McGuire D., Anderson L., Christensen T., Dallimore S., Guo L., Hayes D., Heimann M., Lorenson T., Macdonald R., Roulet N.* 2009, Sensitivity of the carbon cycle in the Arctic to climate change. Ecological Monographs 79:4, 523-555, doi:10.1890/08-2025.
45. *Maritorena S., Siegel D. and Peterson A.* 2002, Optimization of a semi-analytical ocean colour model for global-scale applications. Applied Optics, 41(15), pp. 2705-2714.

46. *Marquardt D.* 1963, An algorithm for least-squares estimation of non-linear parameters. Journal of the International Society of Applied Mathematics, 11, pp. 36-48.
47. *Marra J., Ho C., Trees C.* 2003, LDEO Technical Report, # LDEO-2003-1, National Aeronautics and Space Administration An Alternative Algorithm for the Calculation of Primary Productivity from Remote Sensing Data Publ, 27 p.
48. *Montegut C. de Boyer, Madec G., Fischer A., Lazar A. and Iudicone D.* 2004, Mixed layer depth over the global ocean: an examination of profile data and a profile-based climatology, Journal of Geophysical Research, 109(C12003), pp. 1-20. doi:10.1029/2004JC002378.
49. *Morel A. and Gentili B.* 1991, Diffuse reflectance of oceanic waters: its dependence on Sun angle as influenced by the molecular scattering contribution. Applied Optics, 30, pp. 4427–4438.
50. *Morel A. and Berthon J.-E.,* 1989, Surface pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: Relationships reinvestigated in view of remote sensing applications. Limnology and Oceanography, 34, pp. 1545-1562.
51. *Morel A. and Maritorena S.* 2001, Bio-optical properties of oceanic waters: a reappraisal. Journal of Geophysical Research, 106, pp. 7163-7180.
52. *Morel A. and Prieur L.* 1977, Analysis of variations in ocean colour. Limnol. Oceanogr., 22, pp. 709-722.
53. *Morozov E., Pozdnyakov D., Smyth T., Sychev V. and Grassl H.* 2012. Spaceborne study of seasonal, multi-year and decadal phytoplankton dynamics in the Bay of Biscay. International Journal of Remote Sensing (submitted).
54. *Morozov E., Korosov A., Pozdnyakov D., Pettersson L., Sychev V.* 2010. A new area-specific bio-optical algorithm for the Bay of Biscay and assessment of its potential for SeaWiFS and MODIS/Aqua data merging. Intrernational Journal of Remote Sensing. 31(24): 6541-6565.
55. *Nilsen J. E. Ø., Falck E.* 2006, Variations of mixed layer properties in the Norwegian Sea for the period 1948–1999. Progress in Oceanography 2006;70:58-90.
56. *O'Reilly J.E., S. Maritorena, D. Siegel, M.O 'Brien, D. Toole, B. Greg Mitchell, M. Kahru, F. Chavez, P. Strutton, G. Cota, S. Hooker, C. McClain, K. Carder, F. Muller-Karger, L. Harding, A. Magnuson, D. Phinney, G. Moore, J. Aiken, K. Arrigo, R. Letelier and M. Culver,* (2000), Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4. In: O'Reilly, J.E., and 24 Coauthors, 2000: SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3. NASA Tech. Memo. 2000-206892, Vol. 11, S.B. Hooker and E.R. Firestone, Eds., NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 9-23.
57. *Pabi S., van Dijken G. and Arrigo K.* 2008, Primary production in the Arctic Ocean, 1998–2006. Journal of Geophysical Research, 113(C08005), pp. 1-22. doi:10.1029/2007JC004578.
58. *Platt T. and Sathyendranath S.* 1988, Oceanic Primary Production: Estimation by Remote Sensing at Local and Regional Scales. Science, 241, pp.1613-1620.
59. *Platt T., Sathyendranath S., Forget M.-H., White G., Caverhill C., Bouman H., Devred E. and Son S.* 2008, Operational estimation of primary production at large geographical scales. Remote Sensing of Environment, 112, pp. 3237-3448.
60. *Pope R. and Fry E.* 1997, Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements. Applied Optics, 36, pp. 8710-8723.
61. *Pozdnyakov D. and Kondrartyev K.* 1998, Remote Sensing Assessment of Phytoplankton Primary Productivity: Methodological Aspects. Earth Observation and Remote Sensing, 4, pp. 56-73.
62. *Pozdnyakov D., Korosov A., Pettersson L. and Johannessen O.* 2005, MODIS evidences the river run-off impact on the Kara Sea trophy. International Journal of Remote Sensing, 26(17), pp. 3641-3648.
63. *Press W., Teukolsky S., Vettering W. and Flannery B.* 1992, Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, 2nd ed., (New York: Cambridge University Press).
64. *Sakshaund E.* 2003, Primary and secondary production in the Arctic Seas. In The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean. (Eds. R. Stein, and R.W. Macdonald), pp. 57-81 (Springer: Berlin).
65. *Sakov P., Counillon F., Bertino L., Lisæter K. A., Oke P. R. and Korablev A.*: TOPAZ4: an ocean-sea ice data assimilation system for the North Atlantic and Arctic, J. Geophys. Res., submitted, 2012.
66. *Sathyendranath S.* 2000, General Introduction. In: Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and other Optically-Complex, Waters, S. Sathyendranath, (Ed.). IOCCG Report No.3, pp. 5-21 (Darthmouth: IOCCG Publishing).
67. *Sathyendranath S., Lazzara L. and Prieur L.,* 1987, Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton. Limnology and Oceanography, 32 (2), pp. 403-415.
68. *Smyth T., Tyrrel T. and Tarrant B.,* 2004, Time series of coccolithophore activity in the Barents Sea, from twenty

years of satellite imagery. Geophysical Research Letters, 31(L11302), pp. 1-4. doi:10.1029/2004GL019735.
69. *Stein R.* 2004, The organic carbon cycle in the Arctic Ocean, p. 345 (Berlin: Springer-Verlag)
70. *Stramski D., Bricaud A. and Morel A.* 2001, Modeling the inherent optical properties based on the detailed composition of the planktonic community. Applied Optics, 40 (18), pp. 2929–2945.
71. *Thiersten H. and Young J.* 2004, Coccolithophores – from molecular processes to global impact, pp. 3 – 15 (Berlin: Springer-Verlag).
72. *Vedernikov V.I., A.B. Demidov, A.I. Sud'bin,* 1994, Primary production and chlorophyll in the Kara Sea in September, 1993. Oceanology, 34(5), 693-703.
73. *Vedernikov V. I., Gagarin V. I.* 1998, Primary productivity and chlorophyll in the Barents Sea during September-October 1997. Oceanology. 38(5): 710-718.
74. *Vedernikov V. I., Gagarin V. I., Burenkov V. I.* 2001, Specific features in the distribution of primary production and chlorophyll in the Pechora Sea during August-September 1998. Oceanography. 41(1): 69–79.
75. *Vetrov A.A.* 2008, Chlorophyll, primaryproduction, and organic carbon fluxes in the Kara Sea. Oceanology, 48(1):33-42(Okeanologiya 48(1):38-47)
76. *Vetrov A.A., Romankevich E.A.* 2008, Interannual variability of the primary production and organic carbon fluxes in the Arctic seas of Russia. Oceanology.3:340-348.
77. *Vinogradov M. E., Vedernikov V. I., Romankevich E. A., Vetrov A. A.* 2000, Components of the carbon cycle in the Arctic Seas of Russia. Primary production and fluxes of organic carbon from the photic layer. Oceanography. 40(2): 221-233.12.
78. *Vinogradov M. E., Romankevich E.A., Vetrov A.A., Vedernikov V. I.* 1999, Carbon cycle in the Arctic Seas of Russia. In: Carbon cycling across the territory of Russia. Ministry of Science and Technologies Publ. Moscow. PP.300-325.
79. *Walsh J., Dieterle D., Maslowski W., Grebmeier J., Whitledge T., Flint M., Sukhanova I., Bates N., Cota G., Stockwel D., Moran S., Hansell D. and McRoy C.* 2005, A numerical model of seasonal primary production within the Chukchi/Beaufort seas. Deep Sea Research. Part II, 52(24-26), pp. 3541-3576. doi: 10.1016/j.dsr2.2005.09.009.
80. *Westberry T., Behrenfeld M. J., Siegel D. and Boss E.,* 2008, Carbon-based primary productivity modeling with vertically resolved photoacclimation. Global Biogeochemical Cycles, 22(GB2024), pp. 1-18. doi: 10.1029/2007GB003078.

СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

С.О. Никифорова

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

S.O. Nikiforova

SECURING OF ENVIRONMENTAL SAFETY AS THE PRIORITY DIRECTION OF PUBLIC ADMINISTRATION

В статье исследуется проблема обеспечения экологической безопасности как важнейшая составляющая государственного управления на территории России. Автор анализирует состояние проблемы и пути решения.

Ключевые слова: экологическая безопасность, государственное управление, качество жизни, окружающая среда

Problem of securing of environmental safety as the main component of the public administration in Russia is explored in the article. Author analyzes the state of problem and the ways of solution.

Key words: environmental safety, public administration, quality of life, environment.

Среди глобальных проблем человечества проблема обеспечения экологической безопасности ставится на одно из первых мест, поэтому актуальность данной темы исследования трудно переоценить. Вопросы экологической безопасности приводят к смене всей парадигмы международного сотрудничества и развития экономических систем.

Несмотря на то что вопросу обеспечения экологической безопасности посвящено множество работ разного уровня, данная проблема не только не решена, но и остается одной из самых острых. Взаимодействие природы и человека начинается с глубокой древности, но в настоящее время оно приняло угрожающий характер. Как отмечает Н.М. Боголюбова, «данная проблема становится не только важной для каждого государства в отдельности, но также становится важнейшей чертой международного сотрудничества» [1, с.213].

Определение экологической безопасности постоянно дополняется новым содержанием. В понятие экологической безопасности мировой системы в целом, отдельных стран и регионов в настоящее время входит не только военно-политическая

составляющая или проблемы истощения природных ресурсов, но и обеспечение достойного уровня жизни для населения.

Стремительное развитие науки и техники, с одной стороны, обеспечивают более высокий уровень жизни населения, а с другой – усиление антропогенного влияния на природную среду приводит к истощению природных ресурсов, обострению экологической ситуации, что в свою очередь снижает качество жизни населения. Данное противоречие требует немедленного разрешения.

На протяжении всей своей истории человек стремился к улучшению условий своего существования, повышению качества жизни. Это проявлялось по-разному, но сводилось в большинстве случаев во все большем использовании природных богатств, все более агрессивном воздействии на окружающую среду.

Существует множество подходов к определению экологической безопасности. Так, А.Г. Хуршудов отмечает, что экологическая безопасность является важнейшей составляющей национальной безопасности государства. Под ней подразумевается совокупность природных, социальных, экономических, политических и других условий, обеспечивающих безопасную жизнь и деятельность проживающего на данной территории населения [11].

Исследователь Б.Б. Прохоров определяет экологическую безопасность как состояние, при котором достигается научно обоснованное ограничение или исключение негативного воздействия любого природного и антропогенного фактора или процесса на жизнедеятельность населения и качества окружающей среды [7].

Содержание понятия экологическая безопасность постоянно изменяется и дополняется. Как отмечалось на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (ЮНСЕД), концепция экологической безопасности изменила свои приоритеты. К вопросам целостности территорий государств, военной безопасности прибавилась концепция устойчивого развития, которая подразумевает обеспечение благополучия всех проживающих людей [4]. На Конференции, где принимали участие главы и представители 179 стран, было принято решение об изменении курса развития всего мирового сообщества. Среди приоритетных были выделены демографические проблемы, вопросы здоровья членов общества становятся наиболее важными и связываются с состоянием окружающей среды.

Концепция безопасности подразумевает не только военную, но и опасность техногенного характера, а также деградацию природной среды, истощение природных ресурсов, распространение болезней и др. Названные угрозы не имеют границ и все чаще носят международный характер. Концепция устойчивого развития и обеспечения экологической безопасности принята как основное направление развития мирового сообщества.

Устойчивое развитие всего человечества в целом, стран и регионов в отдельности, обеспечение высокого качества жизни, здоровья населения территорий могут быть обеспечены только благодаря правильной политике государств, разумному государственному управлению.

Экологическая безопасность – это не только состояние, но и процесс обеспечения защищенности всех жизненно важных интересов граждан, связанных с условиями их существования. Субъектами обеспечения экологической безопасности вы-

ступают все акторы, вступающие во взаимоотношения друг с другом и окружающей природной средой, и в процессе своего взаимодействия оказывающие на природную среду негативное воздействие. Несомненно, основную роль в обеспечении экологической безопасности несут государства, но они не являются единственными субъектами управления.

Объектом обеспечения экологической безопасности выступает сама окружающая среда, а также права, разнообразные потребности человека.

Процесс обеспечения экологической безопасности и переход к устойчивому развитию тесно взаимосвязаны. В ответ на рекомендации по изменению курса развития мирового сообщества, принятые на Конференции ООН в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро, в России была принята Концепция перехода РФ к устойчивому развитию № 440 от 1 апреля 1996 г., где отмечается, что «переход к устойчивому развитию осуществить нельзя, сохраняя нынешние стереотипы мышления, пренебрегающие возможностями биосферы и порождающие безответственное отношение граждан и юридических лиц к окружающей среде и обеспечению экологической безопасности»[5, с.2-5].

В Концепции отмечается, что к началу экономических реформ российская экономика оказалась структурно деформированной и неэффективной. Ее негативное воздействие на окружающую среду существенно выше, чем в технологически передовых странах. Значительная часть основных производственных фондов страны не отвечает современным экологическим требованиям, а большая часть территории России характеризуется как экологически неблагополучная [5, с. 2-5].

В мае 2010 г. президент Д.Медведев поручил правительству совместно с общественными организациями создать проект основ экологической политики РФ на период до 2030 г. Также президентом России была одобрена идея создания системы нормирования негативного воздействия на окружающую среду, которая будет стимулировать внедрение наиболее экологически чистых технологий.

Рассмотрим проблему обеспечения экологической безопасности в Санкт-Петербурге. В последние десятилетия Санкт-Петербург один из самых загрязненных городов России. В то же время он является памятником культурного наследия, поэтому программы обеспечения экологической безопасности города становятся еще более актуальными.

Эти программы очень разнообразны и обширны, включают в себя даже спортивные движения [2]. Как отмечают Н.М. Боголюбова и Ю.В. Николаева, в последнее время все более активную роль спортивное сообщество играет в решении экологических проблем, так как спорт тесно связан с природой. Очевидно, что гармоничное развитие человечества предполагает сохранение здоровья, поддержание нравственного и психологического климата. Решение этих задач невозможно без бережного обращения с природой, рационального использования воды, природных ресурсов.

Содержание вредных примесей в воздухе города превышает предельно допустимые нормы в десятки раз, что, естественно, укорачивает жизнь и сильно подрывает здоровье жителей города.

В докладе об экологической ситуации в Санкт-Петербурге, подготовленном Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности, отмечается, что в мире нет такого другого многомиллионно-

го города, расположенного на 60-й параллели северной широты с таким количеством производственных и социально-бытовых объектов, но эти объекты, расположенные на территории города, отличаются высокой ресурсо- и энергоемкостью, что отрицательно сказывается на экологической обстановке [3].

Качество окружающей среды в городе определяется загрязнением воздушного и водного бассейнов, использованием городских земель, утилизацией отходов производства и потребления, состоянием зеленых насаждений и многими другими факторами [3]. На территории мегаполиса расположено более 600 водоемов и около 400 водотоков. Состояние водных объектов города характеризуется как «загрязненные» и «умеренно загрязненные».

По запасам поверхностных вод Санкт-Петербург относится к крупнейшим городам мира: водная поверхность занимает около 10 % площади города. Водные объекты интенсивно используются в целях хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, приема сточных вод, выработки тепловой и электрической энергии, судоходства, рыболовства, рекреации.

В Постановлении Правительства Санкт-Петербурга «Об экологической политике Санкт-Петербурга на 2008-2012 годы» от 25.12.2007 № 1662 отмечается, что основной сброс загрязненных сточных вод в водные объекты осуществляется через сети ГУП «Водоканал Санкт-Петербург» (926,50 млн. м^3). Кроме этого, наиболее крупными загрязнителями водной среды являются предприятия ОАО «ТГК № 1» ТЭЦ-5, ТЭЦ-2, ТЭЦ-14, ТЭЦ-15, ОАО «Судостроительный завод Северная верфь», ОАО «Судостроительная фирма Алмаз», ОАО «ГОЗ Обуховский завод», ОАО «Морской рыбный порт». Даже несмотря на ввод в действие Южных очистных сооружений, сброс загрязненных сточных вод в водные объекты в целом по городу сократился незначительно (на 14,8 млн. м^3), при этом сброс сточных вод без очистки увеличился на 23,5 млн. м^3 [6].

В 2008 г. был завершен один из этапов сооружения коллектора канализации на севере Санкт-Петербурга, который позволит сократить сброс сточных вод в невский бассейн.

Загрязненность реки Невы возрастает от истока к устью под воздействием впадающих в нее притоков и прямых сбросов объектов жилищно-коммунального хозяйства и промышленных предприятий. Среди крупных источников сброса загрязненных сточных вод – Южная ТЭЦ (6,3 тыс. т), ТЭЦ - 15 (3,9 тыс. т), Первомайская ТЭЦ (2,0 тыс. т), ОАО «Кировский завод» (1,6 тыс. т).

В Санкт-Петербурге 100 % населения проживает в условиях высокого и очень высокого уровня загрязнения атмосферы. Как отмечалось в докладе об экологической ситуации в Санкт-Петербурге загрязнение воздушной среды формируется под воздействием западного и северо-западного переноса, т.е. с акватории Финского залива, а также под влиянием выбросов передвижных и стационарных источников [3]. Основную часть загрязнений воздушной среды дает автотранспорт.

На территории мегаполиса и около его окрестностей располагается большое количество грунтовых и подземных вод. Они являются источником питьевой и минеральной лечебной воды. Поэтому экологическое состояние недр, грунтовых вод вызывает наибольшую тревогу.

Автомобильный транспорт ежегодно выбрасывает в атмосферу около 200 т загрязняющих веществ. По официальным данным, вклад машин в насыщение воздуха вредными примесями превышает 70 %. Атмосферный воздух наиболее загрязнен в Адмиралтейском, Московском, Невском, Петроградском, Калининском, Центральном районах.

Из официального сообщения доклада Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности известно, что суммарный выброс загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге только растет [3]. В частности, наблюдается увеличение оксида углерода, летучих органических соединений.

Также угрожающее положение с точки зрения шумового эффекта. Более миллиона граждан Санкт-Петербурга проживают в условиях постоянного шума, основными источниками которого является автотранспорт, железнодорожный транспорт, а также встроенные трансформаторы подстанций в жилые комплексы.

Большую тревогу вызывает химическое и радиационное загрязнение. За последнее десятилетие более 60 % почв и земель не соответствует экологическим и санитарно-гигиеническим нормам. Из доклада Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности известно, что властями проводится специальная программа по замене почв в детских садах и школах. Также сообщается, что в настоящее время в городе 17 мест радиоактивного загрязнения.

Радиационное загрязнение Санкт-Петербурга имеет свою историю. Еще в советские времена Ленинград занимал видное место в стране по развитию радиохимии. Здесь велись исследования по применению радиоизотопов, причем, как отмечают исследователи, до 60-х годов двадцатого века бесконтрольно. Значит, источником радиационного загрязнения служили различные организации: медицинские, военные, научно-исследовательские.

В настоящее время нет четкого учета всем названным организациям, нет четкого контроля за их влиянием на окружающую среду.

По общему экологическому состоянию наиболее неблагоприятными районами признаны Невский, Центральный, Колпинский, Кировский и Калининский.

С учетом вышеизложенного можно выделить наиболее острые экологические проблемы Санкт-Петербурга :

– низкое качество питьевой воды;
– высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха;
– стремительное накопление твердых отходов в черте города и за его пределами;
– рост экологически детерминированных заболеваний населения;
– рост обеспокоенности населения по вопросам состояния окружающей среды.

Устойчивое развитие Санкт-Петербурга, высокое качество жизни и здоровья населения Санкт-Петербурга могут быть обеспечены только при поддержании соответствующего состояния окружающей среды, т.е. обеспечения экологической безопасности. Для этого необходимо сформировать и последовательно реализовывать экологическую политику в целях обеспечения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

В рамках обеспечения экологической безопасности населения и территории мегаполиса Правительством Санкт-Петербурга приняты и действуют законы и докумен-

ты: «О городском экологическом контроле в Санкт-Петербурге», «Об экологическом мониторинге на территории Санкт-Петербурга», «О государственных инспекторах Санкт-Петербурга по охране природы», «Правила землепользования и застройки Санкт-Петербурга», «О государственных природных заказниках и памятниках природы», «Об охране зеленых насаждений», «Концепция формирования экологической культуры населения Санкт-Петербурга», «Об утверждении методических рекомендаций по использованию контейнеров для селективного сбора отходов и обеспечению проведения мероприятий по селективному сбору твердых коммунальных отходов», «Об утверждении Положения о порядке утверждения нормативов образования отходов и установления лимитов на их размещение по упрощенной форме», ПРИКАЗ № 240-ос «Об утверждении заключения экспертной комиссии государственной экологической экспертизы по Материалам комплексного экологического обследования планируемой к организации особо охраняемой природной территории Санкт-Петербурга» и др.

Важнейшими задачами, возложенными на Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности, также являются:

– предупреждение и ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов на участках Невы и некоторых ее притоков;
– ликвидация радиоактивных и химических загрязнений территории города и его пригородов;
– снижение уровня загрязнения ртутью и тяжелыми металлами.

Многие экологические проблемы в настоящее время уже решаются. Так, на основе подведомственных Комитету по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности организаций создана и успешно работает городская комплексная аварийная экологическая служба (ГКАЭС), которая функционирует круглосуточно, принимая информацию о состоянии окружающей среды. Дежурные принимают сообщения от граждан, срочно реагируя на важнейшие из них.

Основными направлениями деятельности ГКАЭС являются:

– оперативная локализация и ликвидация аварийных ситуаций, связанных с загрязнением окружающей среды (в том числе ртутью и другими тяжелыми металлами);
– проведение обследований объектов для оценки уровня загрязнения химически опасными веществами;
– профилактика аварийных ситуаций – сбор у населения и объектов социальной сферы опасных веществ [3].

Изменение и усовершенствование политики по обеспечению экологической безопасности в Санкт-Петербурге будет в ближайшем будущем проводиться также на основе разрабатываемых Государственной Думой федеральных законов: «Об экологической безопасности», «О государственной политике в области экологического образования», «Об охране атмосферного воздуха», «Об обращении с радиоактивными отходами», «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «О питьевой воде» и другие [6].

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что, несмотря на достаточно активно проводимую на территории Санкт-Петербурга и его окрестностей политику по обеспечению экологической безопасности, ситуация в мегаполисе остается угрожающей.

В рамках исследуемого вопроса нами было сформулировано несколько рекомендаций. В качестве одной из них – усиление экологической направленности в образовании и повышение экологической культуры физических и юридических лиц, руководителей крупных предприятий.

Еще в 2002 г. был подписан ФЗ «Об охране окружающей среды» (статья 3), где дается установка на экологическое образование и воспитание, а также в качестве основного принципа заложен принцип охраны окружающей среды.

Но, несмотря на указанный документ, непрерывного экологически-ориентированного образования не сформировалось, что отражается на самой окружающей среде. Непрерывность экологического образования может быть обеспечена при введении (как это рекомендовано новыми образовательными стандартами) в школах, среднеспециальных учебных заведениях. Продолжение экологического образования может быть осуществлено через экологический маркетинг, т.е. обмен информацией по вопросам обеспечения экологической информацией между предприятиями или территориями, повышение квалификации руководителей предприятий в области экологии.

Кроме экологического образования и воспитания, необходимо усилить контроль за соблюдением экологического законодательства. В настоящее время активно применяются инструменты экологического контроля: экологический мониторинг, государственная экологическая экспертиза, экологический аудит и др.

Для Санкт-Петербурга, где большое количество предприятий создавалось еще в XIX или начале XX века все большую актуальность приобретают экологические паспорта предприятий. Разрешительная система природопользования предусматривает получение разрешения на выброс загрязняющих веществ. В основе данного разрешения лежат три требования: обоснованность объемов загрязняющих веществ, возможность самой природной среды переработать эти вредные вещества, плата за выбросы. Последний компонент является эколого-экономическим. Он отражает плату за выбросы вредных веществ в окружающую среду, чтобы потом определять возможности налогообложения предприятия.

Далеко не все предприятия Санкт-Петербурга имеют подобные экопаспорта, а если и имеют, то эти паспорта требуют доработки, особенно в части характеристик сырья, используемого предприятием, источников выбросов, характеристик водопотребления и водоотвеления.

Также следует расширить сотрудничество между предприятиями города и региона, а также между предприятиями и общественными организациями. Положительный опыт подобного сотрудничества имеется в Санкт-Петербурге с Ленинградской областью и Юго-Восточной Финляндией, где были разработаны мероприятия по реализации Программы по защите окружающей среды [9].

Важнейшими направлениями сотрудничества являются: обмен информацией по вопросам экологического законодательства между партнерами, развитие диалогового общения по вопросам использования ресурсосберегающих технологий предприятиями и территориями, более широкое привлечение возобновимых или нетрадиционных источников энергии: биотопливо, гидроэнергия.

Литература

1. *Боголюбова Н.М.* Проблема международного экологического сотрудничества во внешней культурной политике России // Уч. зап. Российского государственного гидрометеорологического университета, 2010, № 15, с.211-218.
2. *Боголюбова Н.М., Николаева Ю.В.* Сотрудничество в сфере сохранения природного и культурного наследия во внешней культурной политике (на примере деятельности ЮНЕСКО в Арктике) // Уч. зап. Российского государственного гидрометеорологического университета, 2011, № 19, с.169-177.
3. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге/Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб, ООО «Сезам-принт», 2011. – 108 с.
4. Концепция коллективной безопасности государств – участников Договора о коллективной безопасности // Безопасность России: правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты: Основополагающие государственные документы. – М., 1998. – Ч.1.
5. Концепция перехода РФ к устойчивому развитию// Собрание законодательства РФ, 1996, № 15, с.3-5.
6. Комитет Государственной Думы по экологии http://duma2.garant.ru/committe/ecology.htm
7. *Прохоров Б.Б.* Безопасность в экологии человека / Экология человека: терминологический словарь. – М.: Феникс, 1999.
8. Постановление Правительства Санкт-Петербурга «Об экологической политике Санкт-Петербурга на 2008 - 2012 годы» от 25.12.2007 № 1662. http://www.gov.spb.ru/gov/admin/otrasl/ecology/ecopolicy2-
9. Программа партнерства между Санкт-Петербургом, Ленинградской областью и Юго-Восточной Финляндией http://www.lenobl.ru/kvms/cbc/firu
10. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 года №7-ФЗ // Сборник федеральных конституционных законов и федеральных законов РФ. Выпуск 4. М.: Изд. Государственной Думы, 2002, – с.45-98.
11. *Хуршудов А.Г.* Концепция экологической безопасности ресурсной северной территории / Биологические ресурсы и природопользование, 1997, вып. 1, с.87- 98.
12. ЮНЕСКО встает на защиту российской природы от олимпийских амбиций правительства России – http://www.greenpeace.org/russia/ru/press/releases/1204675

ХРОНИКА

10 апреля 2012г. Русское географическое общество в номинации «Международное сотрудничество» присудило Грант РГГМУ на реализацию проекта «Влияние изменения климата и опасных природных явлений на природопользование Европейского Севера».

***

РГГМУ на VII Санкт-Петербургском международном книжном салоне (апрель 2012г.) был награжден двумя дипломами:

- «За участие в коллективном стенде образовательной литературы «Университетов России».
- «За участие в выставке и вклад в популяризацию культуры чтения».

***

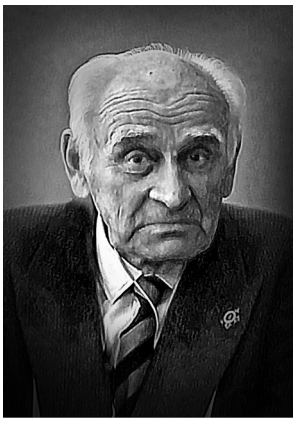
25 мая в Смольном состоялась церемония награждения лауреатов премий Правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся достижения в области науки и образования. В числе награждённых в номинации «Учебно-методическое обеспечение учебного процесса, направленное на повышение качества подготовки специалистов» авторский коллектив РГГМУ: Е.П.Истомин, декана факультета информационных систем и геотехнологий, Л.Н. Карлин, ректора университета и А.Г. Соколов, доцента кафедры экономики и менеджмента.

***

С 24 по 26 мая 2012г. в Санкт-Петербурге в штаб квартире Русского географического общества состоялся симпозиум «Мегагранты – окружающей среде России», собравший 5 ведущих ученых – руководителей крупных проектов, а также специалистов, студентов, аспирантов, работающих по данным проектам.

В настоящем симпозиуме участники представили результаты своих работ в самых различных областях науки. В области спутниковой океанологии лабораторию спутниковой океанографии РГГМУ представил руководитель Мегагранта Бертран Шапрон.

***



27 мая 2012 г. на 92-м году жизни скончался Василий Иосифович Лымарев - доктор географических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, почетный член Русского Географического общества (РГО), один из основоположников российской школы физической географии океана и научного океанопользования.

В 1941 г. с отличием окончил Московский государственный педагогический институт. С первого до последнего дня Великой Отечественной войны принимал участие в обороне Москвы. Завершил войну лейтенантом, командиром взвода связи. Награжден орденом Отечественной войны II степени и многими медалями.

После демобилизации В.И. Лымарев успешно закончил аспирантуру Географического факультета Московского государственного университета и в 1949 г. защитил кандидатскую диссертацию по геоморфологии берегов Курильских островов, после чего почти 20 лет руководил кафедрами географической специализации в ряде высших учебных заведений России. После защиты докторской диссертации В.И. Лымарев был деканом географических факультетов Дальневосточного и Калининградского университетов, а в Кубанском университете в 1971 г. создал лабораторию прибрежно-морских исследований.

В.И. Лымаревым опубликовано более 270 научных работ, в том числе монографии: «Основные проблемы физической географии океана» (1978), «Береговое природопользование: вопросы методологии, теории, практики» (2000), «Основы острововедения» (2002), «Введение в океанопользование» (2004). Впервые в составе океанопользования В.И. Лымарев выделил океаническое, островное и береговое природопользование (берегопользование). Важнейшим направлением работы В.И. Лымарева было исследование историко-географических вопросов освоения берегов российских морей. Результатом многолетних работ в данном направлении стала монография «Отечественные исследователи прибрежных зон морей и океанов» (2002).

Почти 10 лет научной жизни и творчества В.И. Лымарев отдал Российскому государственному гидрометеорологическому университету, работая в 1993–2000 гг. в должности профессора кафедры Промысловой океанологии и охраны природных вод (ПО и ОПВ). С 2009 г. он принимал активное участие в редактировании и издании научно-методической серии монографий «Основные концепции современного берегопользования», выходящей по рекомендации Комиссии географии океана РГО.

Последним научным форумом, в котором принял участие В.И. Лымарев, была международная конференция «Фактор солености в биологических процессах», посвященная 50-летию создания концепции критической солености и состоявшаяся 27–29 февраля 2012 г. в Зоологическом институте РАН.

Список авторов

Абанников Виктор Николаевич, канд.эконом.наук, декан ФЗО РГГМУ
Баранова Мария Евгеньевна, канд.физ.-мат.наук, ассистент каф. МКОА РГГМУ
Белязо Валерий Александрович, канд.геогр.наук, ст.н.сотр. ААНИИ
Бойцов Владимир Борисович, доктор геогр. наук, вед.науч.сотрудник Полярного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО)
Венцюлис Леонард Станиславович, доктор техн.наук, профессор Военно-морской академии
Владимиров Анатолий Михайлович, доктор геогр.наук, проф., зав каф.гидрологии суши РГГМУ
Гаврилов Александр Сергеевич, доктор физ.-мат.наук, проф., зав.каф.МКОА РГГМУ
Гайдукова Екатерина Владимировна, к.т.н., зав. лаб.математического моделировнаия гидрологических процессов, каф.гидрофизики РГГМУ (812)444-82-61
Германова Алевтина Викторовна, аспирантка каф.физической географии и природопользования РГПУ им.Герцена
Григорьева Евгения Геннадьевна, начальник сектора АСУ и НИТ РГГМУ
Грудин Борис Николаевич, доктор техн.наук, проф. каф. компьютерных систем Школы естественных наук Дальневосточного федерального университета;
Денисов Владимир Васильевич, д-р геогр.наук, проф. Мурманского морского биологического института
Дмитриев Александр Алексеевич, канд.геогр.нау, ведущий научный сотр.ААНИИ
Дьяченко Наталья Владимировна, канд.физ.-мат.наук, доцент каф.физики РГГМУ
Карлин Лев Николаевич, д-р физ.-мат. наук, проф., ректор РГГМУ (812)444-41-63
Карпова Ирма Потаповна, канд.геогр.наук, доцент, ст.науч.сотр. РГГМУ
Ламаш Борис Евгеньевич, доктор физ.-мат.наук, проф.Дальневосточного федерального университета
Лебедева Анастасия Андреевна, аспирант каф.прикладной экологии РГГМУ
Малышева Наталья Геннадьевна, зав.лаб.гидрорасходов каф.гидрологии суши РГГМУ
Махнарылова Светлана Васильевна, аспирантка каф. метеопрогнозов РГГМУ
Никифорова Светлана Олеговна, канд.педагогических наук, доцент каф.соц.-гум.наук РГГМУ
Петренко Дмитрий Александрович, Аспирант каф. ЮНЕСКО ДЗМО РГГМУ
Петтерсон Лассе Х., директор по международному сотрудничеству и маркетингу «Нансен-Центра»
Плотников Владимир Сергеевич, доктор физ.-мат.наук, проф., зав. лаб.электронной микроскопии Школы естественных наук Дальневосточного федерального университета
Подгайский Эдуард Валериевич, начальник сектора ПТО и ДО РГГМУ
Поздняков Дмитрий Викторович, доктор физ.-мат. наук, заместитель директора научного фонда «Нансен-Центр»
Сакович Владимир Михайлович, канд.геогр.наук, доцент, проректор по УР РГГМУ
Светлова Марина Всеволодовна, преподаватель кафедры географии и экологии Мурманского государственного гуманитарного университета.
Сикан Александр Владимирович, доцент кафедры гидрологии суши РГГМУ (812) 444826
Скорик Юрий Иванович, канд.хим.наук, ст.науч.сотр.Научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН
Смольянинов Николай Александрович, аспирант Института физики и информационных технологий Дальневосточного государственного университета
Трубина Марина Августиновна, канд.геогр.наук, начальник ИВЦ РГГМУ
Угрюмов Александр Иванович, доктор геогр.наук, профессор каф. метеопрогнозов РГГМУ
Фрумин Григорий Тевелевич, проф.кафедры экологии (812)2240697
Хаймина Ольга Владимировна, ст.преподаватель РГГМУ
Царев Валерий Анатольевич, доктор физ.-мат.наук, профессор, зав.каф.океанологии РГГМУ
Чихачев Кирилл Борисович, соискатель

Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала

1. Материал, предлагаемый для публикации, должен являться оригинальным, неопубликованным ранее в других печатных изданиях. Объем статьи может составлять до 1,5 авторских листов (1 а.л. равен 40 тыс. знаков), в исключительных случаях по решению редколлегии – до 2 авторских листов.
2. На отдельной странице приводятся сведения об авторе (авторах) на русском и английских языках: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность и место работы, контактные телефоны, адрес электронной почты. Плата за опубликование рукописей с аспирантов не взимается.
3. Аннотация статьи объемом до 7 строк на русском и английском языках не должна содержать ссылок на разделы, формулы, рисунки, номера цитируемой литературы.
4. Список литературы должен содержать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок.
5. Пронумерованный список литературы (в алфавитном порядке, сначала на русском, затем на иностранных языках) приводится в конце статьи на отдельной странице с обязательным указанием следующих данных: для книг – фамилия и инициалы автора (редактора), название книги, место издания (город), год издания; для журнальных статей – фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала, год издания, том, номер, выпуск, страницы (первая и последняя). Разрешается делать ссылки на электронные публикации и адреса Интернет с указанием всех данных.
6. Оформление ссылок в тексте: в квадратных скобках [ ] указать порядковый номер литературы. Если при цитировании делается ссылка на конкретную цитату, формулу, теорему и т.п., следует указывать номер страницы: [13, с. 23].
7. Сноски помещаются на соответствующей странице текста.
8. Таблицы и другие цифровые данные должны быть тщательно проверены и снабжены ссылками на источники. Таблицы приводятся в тексте статьи, номер и название указываются над таблицей.
9. Названия зарубежных компаний приводятся в тексте без кавычек и выделений латинскими буквами. После упоминания в тексте фамилий зарубежных ученых, руководителей компаний и т.д. на русском языке, в полукруглых скобках приводится написание имени и фамилии латинскими буквами, если за этим не следует ссылка на работу зарубежного автора.

Рекомендации по форматированию для подачи рукописи в редакционно-издательский отдел

Формат А5 (148×210) книжный.
Поля: верхнее – 1,8 см; нижнее – 2,3 см; левое – 1,8 см; правое – 1,8 см.
От края до верхнего колонтитула – 0 см, до нижнего колонтитула – 1,8 см.
Колонцифры внизу в зеркальном положении – 10, обычным шрифтом, начинать с титульного листа.
Набрать текст шрифтом Times New Roman, обычный.
Межстрочный интервал – одинарный.
Абзацный отступ – 0,75 см.
Интервал до заголовка – 24 пункта, после – 6.
Размер шрифта: основной текст – 11, таблицы – 9.
Лежачие таблицы поместить в отдельный файл на формат А5 альбомный, поля: верхнее, нижнее и правое – 1,8 см, левое – 2,3 см, шрифт – 9.
Рисунки располагать по тексту в соответствии со ссылкой.
Подрисуночную подпись набрать шрифтом – 9.
В формулах русские буквы прямые, латинские – курсивные, греческие – прямые, тригонометрические функции (sin, cos и др.) набирать прямым шрифтом.
Литература – шрифт 9.
Оглавление поместить в конце рукописи – шрифт 9.

Требования к оформлению статьи для публикации в Ученых записках

Инициалы и фамилии авторов на русском языке.
Название на русском языке.
Аннотация на русском языке.
Ключевые слова на русском языке.
Инициалы и фамилии авторов на английском языке.
Название на английском языке.
Аннотация на английском языке.
Ключевые слова на английском языке.
Формат 17×24 книжный.
Поля зеркальные: верхнее и нижнее – 2,3 см; левое и правое – 1,8 см.
От края до верхнего колонтитула и нижнего колонтитулов – 1,8 см.

Внимание!

Авторская правка в верстке – компенсационная, до пяти буквенных исправлений на странице.

Научное издание

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА № 24

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакторы: И.Г. Максимова, Л.В. Ковель
Компьютерная верстка: Ю.И. Климов
ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 08.06.12. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,3. Тираж 500 экз. Заказ № 96.
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
Отпечатано в ЦОП РГГМУ

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС2-8484 от 07 февраля 2007 г.
в Управлении Федеральной службы в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия по Северо-Западному федеральному округу
Учредитель: Российский государственный гидрометеорологический университет